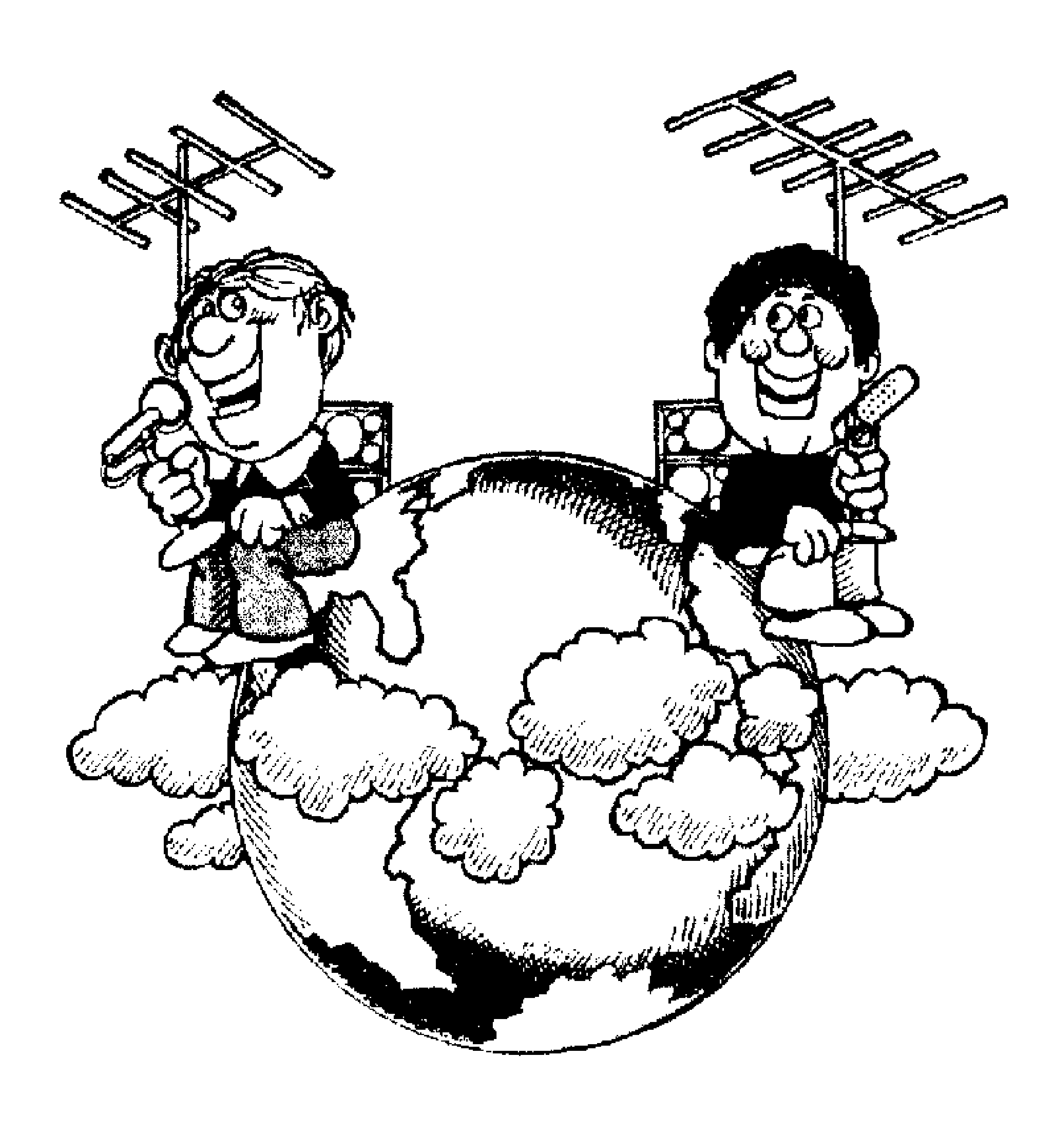
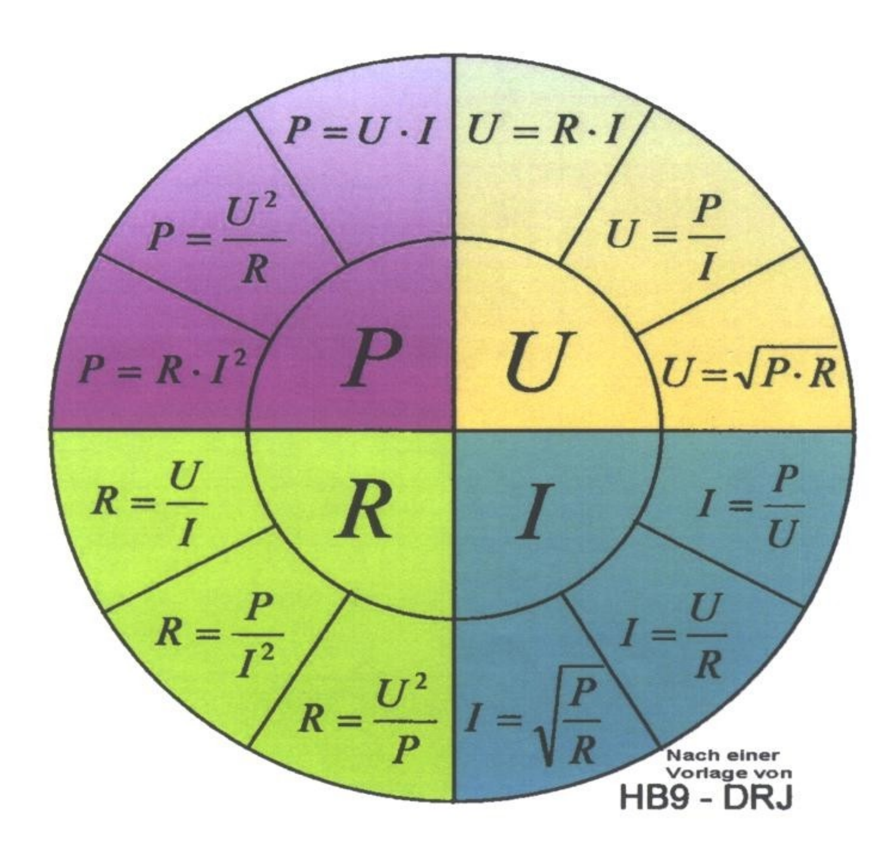


Inhaltsverzeichnis

P-U-R-I-Kreis



SI-Basiseinheiten

Basisgrösse	Formel-zeichen	SI-Basiseinheit	Einheiten-Abkürzung
Länge	l	Meter	m
Masse	m	Kilogramm	kg
Zeit	t	Sekunde	s
Elektrische Stromstärke	I	Ampère	A
thermodynamische Temperatur	T	Kelvin	K
Stoffmenge	n	Mol	mol
Lichtstärke	lv	Candela	cd

Abgeleitete Einheiten

Grösse	Abkürzung	Einheit	Abkürzung
Spannung	U	Volt	V
Widerstand	R	Ohm	Ω
Leistung	P	Watt	W
Frequenz	f	Hertz	Hz
Induktivität	L	Henry	H
Kapazität	C	Farad	F

Festgelegte Vorsätze

Zehnerpotenz	Zahl multiplizieren mit	Voratz	Vorzeichen
10^{-15}	0,000 000 000 000 001	femto	f
10^{-12}	0,000 000 000 001	piko	p
10^{-9}	0,000 000 001	nano	n
10^{-6}	0,000 001	mikro	µ
10^{-3}	0,001	milli	m
10^{-2}	0,01	centi	c
10^{-1}	0,1	dezi	d
10^{0}	1	-/-	-/-
10^{1}	10	deka	da
10^{2}	100	hekto	h
10^{3}	1 000	kilo	k
10^{6}	1 000 000	Mega	M
10^{9}	1 000 000 000	G	Giga
10^{12}	1 000 000 000 000	Tera	T
10^{15}	1 000 000 000 000 000	Peta	P

Pythagoras

$c = \sqrt{(a^2 + b^2)}$ $b = \sqrt{(c^2 - a^2)}$ $a = \sqrt{(c^2 - b^2)}$ $c^2 = a^2 + b^2$

Kreisfläche

$A = \frac{d^2 \cdot \pi}{4}$ $d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$ *oder* $A = r^2 \cdot \pi$ $r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$

Rundspule

- einlagige Wicklung

$l = d_m \cdot \pi \cdot N$

$B = d_2 \cdot N$

$d_m = \frac{D + d}{2}$

$l_m = \pi \cdot d_m$

l = Drahtlänge
d_m = mittlerer Windungsdurchmesser
N = Windungszahl
B = Wickelbreite
d_2 = Drahtdurchmeser
l_m = mittlere Windungslänge
D = Aussendurchmesser der gewickelten Spule

- mehrlagige Wicklungen

$l = \pi \cdot d_m \cdot N$

$N = N_1 \cdot Z$

$Z = \frac{D - d}{d_2}$

l = Drahtlänge
d_m = mittlerer Windungsdurchmesser
N = Windungszahl
z = Lagenzahl
d_2 = Drahtdurchmeser
N_1 = Windungszahl pro Lage
D = Aussendurchmesser der gewickelten Spule

Periodendauer, Frequenz

$t = \frac{1}{f}$ $f = \frac{1}{t}$

t = Periodendauer in s
f = Frequenz in Hertz

$t_{\text{in Sek.}} = \frac{1}{f_{\text{in Hz}}}$ $f_{\text{in Hz}} = \frac{1}{t_{\text{in Sek.}}}$ $f_{\text{in MHz}} = \frac{300}{\lambda_{\text{in Meter}}}$ $\lambda_{\text{in Meter}} = \frac{300}{f_{\text{in MHz}}}$

Wellenlänge

$\lambda = \frac{c}{f}$ $f = \frac{c}{\lambda}$

$\lambda = c \cdot T$

λ = Wellenlänge Lambda in m
f = Frequenz in Hertz
c = Ausbreitungsgeschwindigkeit ($3 \cdot 10^8\ m/s$ oder $300'000\ km/s$)
T = Periodendauer in s

$\lambda[m] = \frac{300}{f[MHz]}$ $f[MHz] = \frac{300}{\lambda[m]}$

Kreis-Frequenz

$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

ω = Kreisfrequent in $1/s$
f = Frequenz in Hertz

Formelsammlung HB3/HB9

Ohmsches Gesetz

$U = R \cdot I \qquad I = \frac{U}{R} \qquad R = \frac{U}{I}$

U = *Spannung* in V
R = *Widerstand* in Ω
I = *Strom* in A

$R = \frac{U_{eff}}{I_{eff}} = \frac{U_s}{I_s} = \frac{U_{ss}}{I_{ss}}$

- Die Stromstärke ist umso grösser, je höher die Spannung und je kleiner der Widerstand.

Leistung

$P = U \cdot I \qquad P = I^2 \cdot R \qquad P = \frac{U^2}{R}$

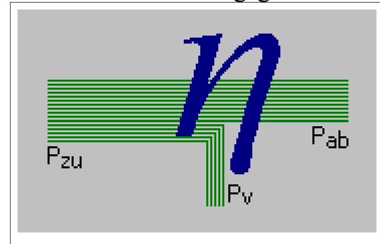
P = *Leistung* in W
U = *Spannung* in V
I = *Strom* in A

Leistungsberechnung im Wechselstromkreis

$P = U_{eff} \cdot I_{eff}$

Wirkungsgrad

- Der Wirkungsgrad ist das Verhältnis von abgegebener Nutzleistung und zugeführter Leistung.



$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}} \cdot 100$

$P_v = P_{zu} - P_{ab}$

P_{ab} = *Abgegebene Leistung*
P_{zu} = *Zugeführte Leistung*
P_V = *Leistungsverlust*
η = *Wirkungsgrad* in %

Elektrische Arbeit

$W = P \cdot t \qquad t = \frac{W}{P} \qquad P = \frac{W}{t}$

W = *Arbeit* in *Ws oder Wh oder kWh*
P = *Leistung* in *Watt oder Watt oder KW*
t = *Zeit* in *s oder h oder h*

Energiekosten

$K = k \cdot W = k \cdot P \cdot t$

k = *Preis pro kWh* in *Rp.*
t = *Zeit* in h
K = *Energiekosten* in *Rp.*
P = *Wirkleistung* in kW
W = *Energie* in kWh

Spannung

$U = R \cdot I \qquad U = \sqrt{P \cdot R} \qquad U = \frac{P}{I}$

P = *Leistung* in W
U = *Spannung* in V
R = *Widerstand* in Ω

Strom

$I = \frac{U}{R} \qquad I = \frac{P}{U} \qquad I = \sqrt{\frac{P}{R}}$

P = *Leistung* in W
U = *Spannung* in V
I = *Strom* in A
R = *Widerstand* in Ω

Stromdichte

$I = S \cdot A \quad S = \frac{I}{A} \quad A = \frac{I}{S}$

$S = Stromdichte$ in A/mm^2
$I = Stromstärke$ in A
$A = Fläche$ in mm^2

Leitwert

$G = \frac{1}{R}$

$G = Leitwert$ in S
$R = Widerstand$ in Ω

Ladung

$Q = I \cdot t \quad I = \frac{Q}{t} \quad t = \frac{Q}{I}$

$Q = Ladung$ in C
$I = Strom$ in A
$t = Zeit$ in s

Widerstand

$R = \frac{U}{I} \quad R = \frac{U^2}{P} \quad R = \frac{P}{I^2}$

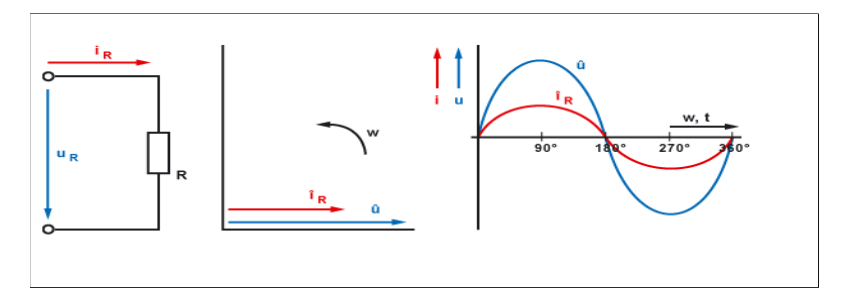
$P = Leistung$ in W
$U = Spannung$ in V
$I = Strom$ in A
$R = Widerstand$ in Ω

Merke:

- Der Widerstand ist umso grösser, je länger der Leiter ist.
- Je grösser der Querschnitt eines Leiters, desto kleiner der Widerstand.

- PTC = Kaltleiter (Glühlampen) – Mit zunehmender Temperatur wird der Widerstand grösser.
- NTC = Heissleiter (Temperaturfühler) – Mit zunehmender Temperatur wird der Widerstand kleiner.

Wirkwiderstand Ohmscher Widerstand an Wechselspannung

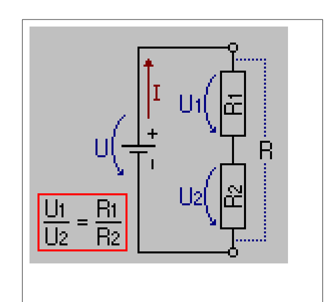


Merke:

- Die Phasenverschiebung φ zwischen Spannung und Strom beträgt 0°. Das heisst, Spannung und Strom verlaufen zur gleichen Zeit durch die Null-Linie (Nulldurchgang).

Serienschaltung

- Der Strom in der Serienschaltung ist in allen Widerständen gleich gross.
- Die Summe der Teilspannungen ist gleich der Gesamtspannung.
- Die Spannungen verhalten sich Proportional zu den Widerständen.
- Der Gesamtwiderstand der Serienschaltung setzt sich aus den einzelnen Serienwiderständen zusammen.



Einzelwiderstände ungleich gross

$$R_{tot} = R_1 + R_2 + R_3 + R_n \qquad I_{tot} = \frac{U_{tot}}{R_{tot}} \qquad U_1 : U_2 : U_3 : U_N : U_{tot} = R_1 : R_2 : R_3 : R_N : R_{tot}$$

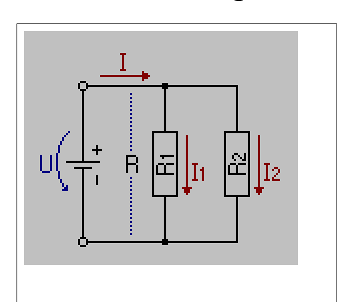
$$P_{tot} = P_1 + P_2 + P_3 + P_n$$

$$U_{tot} = U_1 + U_2 + U_3 + U_n$$

Einzelwiderstände gleich gross

$$R_{tot} = n \cdot R_1 \qquad R_1 = \frac{R_{tot}}{n} \qquad U_{tot} = n \cdot U_1 \qquad U_1 = \frac{U_{tot}}{n} \qquad U_1 : U_{tot} = R_1 : R_{tot}$$

Parallelschaltung



Einzelwiderstände gleich gross

$$R = \frac{R_1}{n} \qquad R_1 = n \cdot R \qquad I_{tot} = n \cdot I_1 \qquad I_1 = \frac{I_{tot}}{n}$$

2 Widerständen, ungleich gross

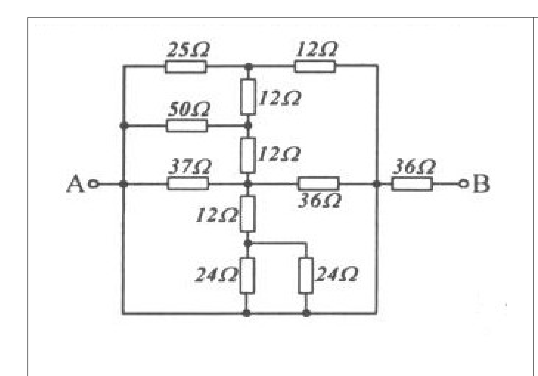
$$R_{tot} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \qquad R_1 = \frac{R_2 \cdot R_{tot}}{R_2 - R_{tot}} \qquad I_1 : I_2 = R_2 : R_1 \qquad I_{tot} = I_1 + I_2$$

mehreren Widerständen, ungleich gross

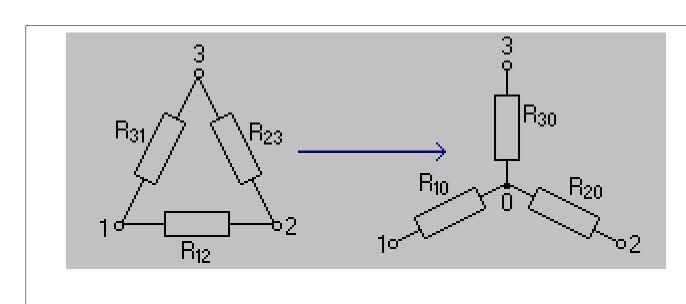
- In der Parallelschaltung liegt an allen Widerständen die gleiche Spannung an.
- Die Summe der Teilströme ist gleich der Summe des Gesamtstrom.
- Die Ströme verhalten sich umgekehrt Proportional wie die zugehörigen Widerstände.
- Der Gesamtwiderstand der Parallelschaltung ist kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.

$$R_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \frac{1}{R_n}} \qquad R_1 = \frac{1}{\frac{1}{R_{tot}} - \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_3} - \frac{1}{R_n}} \qquad I_{tot} = I_1 + I_2 + I_3 + I_n$$

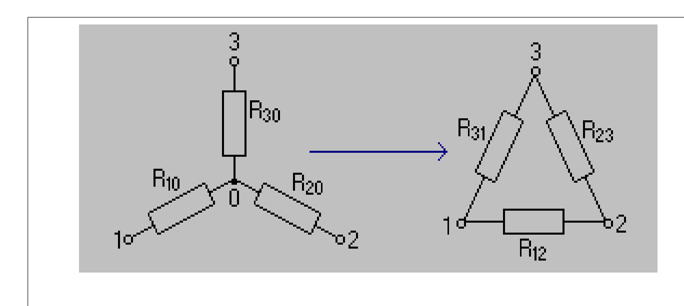
Gemischte Schaltung

	Bei dieser Schaltung geht der Strom den Weg des geringsten Widerstandes. Also 36 Ohm.

Dreieck in Stern Transformation

	$R_{10} = \frac{R_{12} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_{20} = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$ $R_{30} = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$

Stern in Dreieck Transformation

	$R_{12} = \frac{R_{10} \cdot R_{20}}{R_{30}} + R_{10} + R_{20}$ $R_{23} = \frac{R_{20} \cdot R_{30}}{R_{10}} + R_{20} + R_{30}$ $R_{31} = \frac{R_{30} \cdot R_{10}}{R_{20}} + R_{30} + R_{10}$

Leitfähigkeit

- Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des spezifischen Widerstandes.

$$\rho = \frac{1}{\gamma} \quad \gamma = \frac{1}{\rho} \qquad \rho = \textit{spezifischer Widerstand} \quad \gamma = \textit{Leitfähigkeit}$$

- Silber: 62 · 106 S/m (höchste elektrische Leitfähigkeit aller Metalle)
- Gold: 45,2 · 106 S/m
- Kupfer: 58 · 106 S/m
- Messing: 15,5 · 106 S/m
- Eisen: 9,93 · 106 S/m

Leitwertwiderstand

$$R = \frac{l}{\gamma \cdot A}$$

$\gamma = Leitfähigkeit$
$l = Länge \text{ in } Meter$
$A = Fläche \text{ in } mm^2$
$R = Widerstand \text{ in } \Omega$

Spezifischer Widerstand

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \qquad \rho = \frac{R \cdot A}{l} \qquad A = \frac{\rho \cdot l}{R} \qquad l = \frac{R \cdot A}{\rho}$$

$\rho = rho\ spezifischer\ Widerstand\ (Kupfer\ 0.0175)$
$l = Länge \text{ in } Meter$
$A = Fläche \text{ in } mm^2$
$R = Spezifischer\ Widerstand \text{ in } \Omega$

Temperaturkoeffizient

$$\Delta R = \alpha \cdot \Delta T \cdot R_k \qquad \alpha = \frac{\Delta R}{\Delta T \cdot R_k} \qquad \Delta T = \frac{\Delta R}{\alpha \cdot R_k}$$

$$R_k = \frac{\Delta R}{\alpha \cdot \Delta T} \qquad R_w = R_k(1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

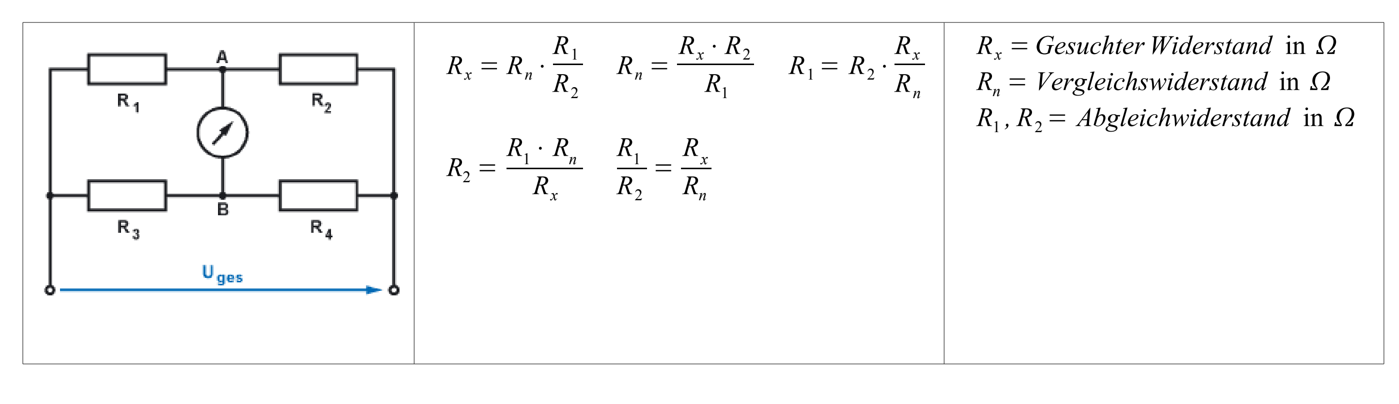
$\Delta R = Widerstandsänderung \text{ in } \Omega$
$\Delta T = Temperaturänderung \text{ in } {}^\circ C$
$\alpha = Temperaturkoeffizient$
$R_k = Anfangswiederstand\ bei\ 20\ Grad$
$R_w = Warmwiderstand$

Wärmedehnung eines Leiters

$$L_w = L_k + (\alpha \cdot L_k \cdot \Delta T)$$

$L_k = Länge\ kalt$
$L_w = Länge\ warm$
$\alpha = Längenausdehnungskoeffizient$
$\Delta T = Temperaturausdehnung$

Wheatstonesche Messbrücke (Brückenschaltung)



$$R_x = R_n \cdot \frac{R_1}{R_2} \qquad R_n = \frac{R_x \cdot R_2}{R_1} \qquad R_1 = R_2 \cdot \frac{R_x}{R_n}$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot R_n}{R_x} \qquad \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_x}{R_n}$$

$R_x = Gesuchter\ Widerstand \text{ in } \Omega$
$R_n = Vergleichswiderstand \text{ in } \Omega$
$R_1, R_2 = Abgleichwiderstand \text{ in } \Omega$

Spannungsteiler

Unbelastet	***Belastet***
$U = U_1 + U_2 \quad U_1 = U - U_2 \quad U_2 = U - U_1$ $U = \frac{U_1 \cdot R}{R_1} \quad U_1 = \frac{U \cdot R_1}{R} \quad U_2 = \frac{U \cdot R_2}{R}$ $U = \frac{U_2 \cdot R}{R_2} \quad U_1 = \frac{R_1 \cdot U_2}{R_2} \quad U_2 = \frac{U_1 \cdot R_2}{R_1}$ $U = I \cdot R \quad U_1 = I \cdot R_1 \quad U_2 = I \cdot R_2$ $I = \frac{U_1}{R_1} \quad I = \frac{U_2}{R_2} \quad I = \frac{U}{R}$ $R = R_1 + R_2 \quad R_1 = R - R_2 \quad R_2 = R - R_1$ $R = \frac{U \cdot R_1}{U_1} \quad R_1 = \frac{U_1 \cdot R}{U} \quad R_2 = \frac{U_2 \cdot R}{U}$ $R = \frac{U \cdot R_2}{U_2} \quad R_1 = \frac{U_1}{I} \quad R_2 = \frac{U_2}{I} \quad R = \frac{U}{I}$	$U = U_1 + U_2 \quad U_1 = \frac{U \cdot R_1}{R} \quad U_2 = \frac{U_1 \cdot R_E}{R_1}$ $U = \frac{U_1 \cdot R}{R_1} \quad U_1 = \frac{R_1 \cdot U_2}{R_E} \quad U_2 = I \cdot R_E \quad U = \frac{U_2 \cdot R}{R_E}$ $U_1 = I \cdot R_1 \quad U = I \cdot R \quad U_2 = U - U_1 \quad U_1 = U - U_2$ $U_2 = \frac{U \cdot R_E}{R}$ $I = \frac{U_1}{R_1} \quad I_L = I - I_q \quad I = \frac{U_2}{R_E} \quad I_q = \frac{U_2}{R_2}$ $I = \frac{U}{R} \quad I_q = I - I_L \quad I = I_q + I_L \quad I_L = \frac{U_2}{R_L}$ $R = R_1 + R_E \quad R_1 = \frac{U_1 \cdot R}{U} \quad R_E = \frac{R_2 \cdot R_L}{R_2 + R_L}$ $R = \frac{U \cdot R_1}{U_1} \quad R_1 = \frac{U_1}{I} \quad R_2 = \frac{R_L \cdot R_E}{R_L - R_E}$ $R = \frac{U \cdot R_E}{U_2} \quad R_E = R - R_1 \quad R_L = \frac{R_2 \cdot R_E}{R_2 - R_E}$ $R = \frac{U}{I} \quad R_E = \frac{U_1 \cdot R}{U}$ $R_1 = R - R_E \quad R_E = \frac{U_2}{I}$
U = *Gesamtspannung* in V U_1 = *Teilspannung* in V U_2 = *Teilspannung* in V R = *Gesamtwiderstand* in Ω R_1 = *Teilwiderstand* in Ω R_2 = *Teilwiderstand* in Ω I = *Stromstärke* in A	U = *Gesamtspannung* in V U_1 = *Teilspannung* in V U_2 = *Teilspannung* in V R = *Gesamtwiderstand* in Ω R_1 = *Teilwiderstand* in Ω R_2 = *Teilwiderstand* in Ω R_E = *Ersatzwiderstand* in Ω I = *Gesamtstrom* in A I_L = *Laststrom* in A I_q = *Querstrom* in A

Spannungsabfall, Spannungsverbrauch

$U_v = I \cdot R_L = U_1 - U_2 \quad U_2 = U_1 - U_v \quad U_1 = U_2 + U_v$

$I = \frac{U_1}{R + R_L} = \frac{U_2}{R}$

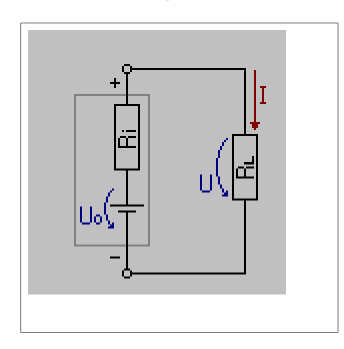
I = *Stromstärke* in A
R = *Verbraucherwiderstand* in Ω
R_L = *Leitungswiderstand* in Ω
U_V = *Spannungsverbrauch der Leitung* = *Spannungsabfall* in V
U_1 = *Netzspannung* in V
U_2 = *Verbraucherspannung* in V

Innenwiderstand

$R_i = \frac{\Delta U_k}{\Delta I}$

R_i = *Innenwiderstand*
ΔU_k = *Spannungsunterschied an den Klemmen*
ΔI = *Stromuntersdchied bei Belastung*

Spannungsquellen



- Der Innenwiderstand einer Konstantstromquelle ist im Bezug zum Lastwiderstand sehr hoch.
- Der Innenwiderstand eines Bleiakkus wird mit zunehmendem Alter grösser.
- Der innere Widerstand eines Akkumulator-Elementes und seine Kapazität sind über die gesamte Lebensdauer betrachtet umgekehrt proportional zueinander.

Klemmenspannung

$I = \frac{U}{R_L} \quad R_i = \frac{U_0}{I} - R_L \quad I_k = \frac{U_0}{R_i}$

$U = I \cdot R \quad U_0 = I \cdot (R_i + R_L) \quad U_i = I \cdot R_i$

$U_0 = U_i + U \quad U_i = U_0 - U \quad U = U_0 - U_1$

$I = \frac{U}{R} \quad I = \frac{U_i}{R_i} \quad I = \frac{U_0 - U_i}{R}$

$I = \frac{U_0}{(R_L + R_i)} \quad I_k = \frac{U_0}{R_i}$

$R_L = \frac{U}{I} \quad R_L = (\frac{U_0}{I}) - R_i$

$R_i = \frac{U_i}{I} \quad R_i = (\frac{U_0}{I}) - R_L$

U = *Klemmenpannung* in V
U_0 = *Quellenspannung* in V
U_i = *innerer Spannungsabfall* in V
I = *Stromstärke* in A
R_i = *innerer Widerstand der Stromquelle* in Ω
R_L = *Lastwiderstand* in Ω
I = *Ladestrom* in A
I_k = *Kurzschlussstrom* in A

Kapazität Spannungsquelle

$C = I \cdot t \quad I = \frac{C}{t} \quad t = \frac{C}{I}$

C = *Kapazität* in Ah
I = *Stromstärke* in A
t = *Zeit* in h

Maximaler Ladestrom

Bleiakkumulator	Stahlakkumulator
$I_{Lmax} = \frac{C}{10}$	$I_{Lmax} = \frac{C}{5}$

Ladungswirkungsgrad

$$\eta_{Ah} = \frac{I_E \cdot t_E}{I_L \cdot t_L} \qquad \eta_{Wh} = \frac{W_{ab}}{W_{zu}}$$

$$\eta_{Wh} = \frac{U_E \cdot I_E \cdot t_E}{U_L \cdot I_L \cdot t_L}$$

$\eta_{Ah} = Ladungswirkungsgrad\ dimensionslos$
$\eta_{Wh} = Energiewirkungsgrad\ dimensionslos$
$I_L = Ladestrom$ in A
$I_E = Entladestrom$ in A
$U_L = Ladespannung$ in V
$U_E = Entladespannung$ in V
$W_{ab} = abgegebene\ Arbeit$ in Wh
$W_{zu} = zugeführte\ Arbeit$ in Wh
$t_L = Ladezeit$ in h
$t_E = Entladezeit$ in h

EMK (Elektromotorische Kraft)

$$I = \frac{E}{R_i + R_L + R_v}$$

$$U_V = I \cdot R_v$$

$$U_K = E - U_i$$

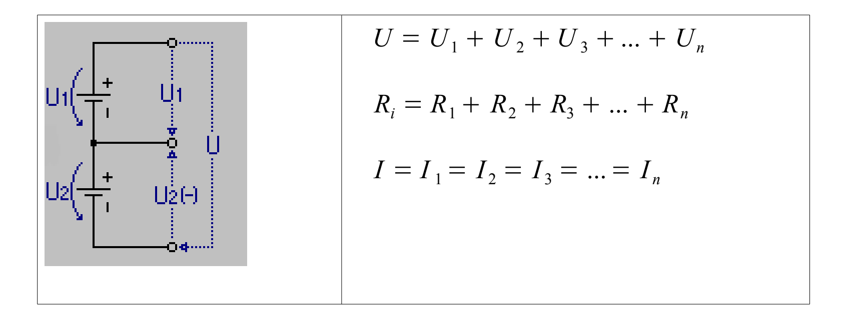
$$E = U_i + U_L + U_v$$

$$U_L = I \cdot R_L$$

$I = Stromstärke$ in A
$E = EMK$ in V
$R_i = Innerer\ Widerstand\ der\ Stromquelle$ in Ω
$R_L = Lastwiderstand$ in Ω
$R_v = Verbraucherwiderstand$ in Ω
$U_v = Verbraucherspannung$ in V
$U_K = Klemmenspannung\ der\ Quelle$ in V
$U_i = Spannungsverbrauch\ der\ Quelle$ in V
$U_L = Spannungsverbrauch\ der\ Leitung$ in V
$U_v = Verbraucherspannung$ in V

Reihenschaltung von Spannungsquellen

- Bei der Reihenschaltung von Spannungsquellen addieren sich deren Spannungen, sowie deren Innenwiderstände!



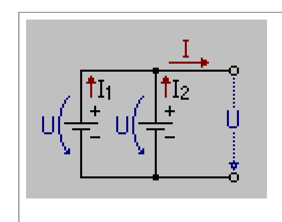
$$U = U_1 + U_2 + U_3 + \ldots + U_n$$

$$R_i = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n$$

$$I = I_1 = I_2 = I_3 = \ldots = I_n$$

Parallelschaltung von Spannungsquellen

- Bei der Parallelschaltung von Spannungsquellen addieren sich die einzelnen Ströme, sowie die Innenleitwerte der einzelnen Zellen.
- Es dürfen nur Spannungsquellen mit gleicher Quellenspannung und gleichem Innenwiderstand parallel geschaltet werden.
- Nach Möglichkeit sind Spannungsquellen mit einer höheren Kapazität einer Parallelschaltung vorzuziehen.

	$U = U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n$ $I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$ $\frac{1}{R_i} = \frac{1}{R_{i1}} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_{i2}} + \frac{1}{R_{in}} +$

Kirchhoff'sche Gesetze

1. Kirchhoff'sche Gesetz	***2. Kirchhoffs Gesetz***
$\sum I_{zu} = \sum I_{ab}$	$\sum U = 0\,V$

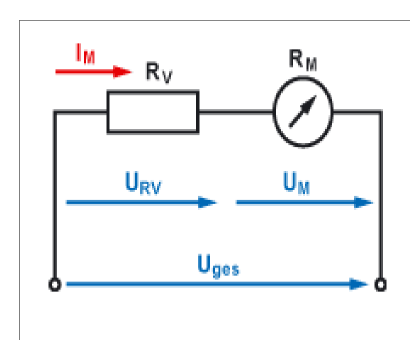
Elektrische Feldstärke

$U = E \cdot l \quad E = \frac{U}{l} \quad l = \frac{U}{E}$

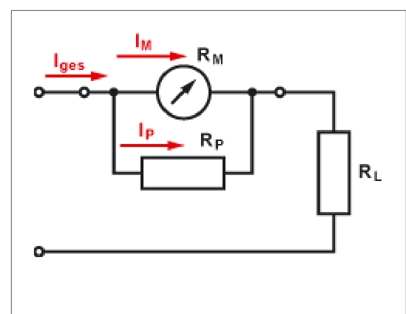
$E = Feldstärke$ in V/m
$U = Spannung$ in V
$l = Abstand\ der\ beiden\ Platten$ in m

Messbereichserweiterung

Spannungsmessung

	$U_{RV} = U_{Ges} - U_M$ $R_V = \frac{U_V}{I_M} \quad R_V = \frac{U_{Ges} - U_M}{I_M}$ $I_M = \frac{U_{Ges}}{R_V + R_i} \quad I_M = \frac{U_M}{R_i}$	$U_{RV} = Spannung\ am\ Vorwiderstand$ in V $U_{Ges} = Gesamtspannung$ in V $U_M = Spannung\ am\ Messgerät$ in V $R_V = Vorwiderstand$ in Ω $I_M = Strom\ am\ Messgerät$ in A $R_i = Innenwiderstand\ Messgerät$ in Ω

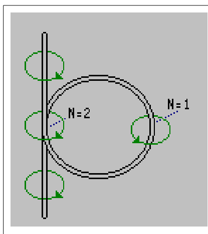
Strommessung

	$\frac{I_P}{I_M} = \frac{R_P}{R_M}$ $I_P = I_{Ges} - I_M$ $R_p = \frac{U_M}{I_{Ges} - I_M}$ $R_p = \frac{R_M \cdot I_M}{I_P}$	$I_{Ges} = Gesamtstom$ in A $I_P = Stom\ am\ Parallelwiderstand$ in A $I_M = Stom\ am\ Messgerät$ in A $U_M = Spannung\ am\ Messgerät$ in V $R_P = Nebenwiderstand$ in Ω $R_M = Innenwiderstand\ Messgerät$ in Ω

Elektromagnetismus

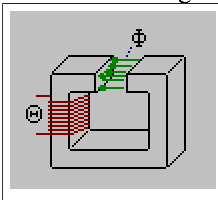
Durchflutung

- Die magnetische Wirkung einer Spule ist umso grösser, je grösser die Stromstärke und je grösser die Windungszahl ist.

	$\Theta = I \cdot N \quad I = \frac{\Theta}{N} \quad N = \frac{\Theta}{I}$ $\Theta = Durchflutung$ in A $I = Strom$ in A $N = Windungszahl$

Magnetischer Flussdichte

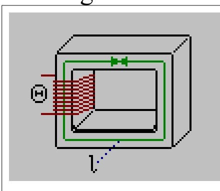
- Der magnetische Fluss ist die Gesamtzahl der aus einem Pol eines Magneten oder einer Spule austretenden Feldlinien.

	$\Phi = B \cdot A \quad B = \frac{\Phi}{A}$ $B = \mu \cdot H = \mu_0 \cdot \mu_r \cdot H$ $A = Durchflutete\ Fläche$ in m^2 $H = Feldstärke$ in A/m $B = Magnetische\ Flussdichte$ in T $\Phi = Magnetischer\ Flus$ in $VS = Wb$ $\mu_0 = phydikalische\ Permeabilitätskonstante(1,256 \cdot 10^{-6})$ $\mu_r = Material\ Permeabilitätskonstante(beu\ Luft\ 1)$

Feldstärke

- Die Stärke eines Spulenfeldes hängt von der Durchflutung und von der Spulenlänge (mittlere Feldlinienlänge) ab. Sie wächst im gleichen Verhältnis wie die Durchflutung und im umgekehrten Verhältnis wie die mittlere Feldlinienlänge.

Merke:
Die Stärke des magnetischen Feldes ist umso grösser, je grösser die Stromstärke ist, die durch die Spule fliesst.
Die magnetische Feldstärke ist proportional zum Strom.

	$H = \frac{I \cdot N}{l}$ oder $H = \frac{\Theta}{l}$ $l = \frac{\Theta}{H}$ $\Theta = H \cdot l$ $H = Feldstärke$ in A/m $\Theta = Durchflutung$ in A $I = Strom$ in A $N = Windungszahl$ $l = mittlere\ Feldlinienlänge$ in m

Permeabilität

$$\mu_0 = 1,256 \cdot 10^{-6} \left[\frac{V_S}{A \cdot m}\right]$$

$\mu_0 = phydikalische\ Permeabilitätskonstante$
$V_S = Voltsekunde\ A = Querschnittsfläche$ in m^2
$m = Abmessung\ der\ Spule$ in m

Induktionsgesetz

Die erzeugte Spannung wird um so grösser, wenn mann
- die Windungszahl N der Spule erhöht
- den Dauermagneten schneller hin- und her bewegt

$$U = \frac{\Delta\Phi \cdot N}{\Delta t} \quad oder \quad \frac{\Delta(B \cdot A) \cdot N}{\Delta t}$$

$U = Induzierte\ Spannung$ in V
$\Phi = Magnetischer\ Flus$ in $VS = Wb$
$t = Zeit$ in s
$N = Windungszahl$
$A = Durchflutete\ Fläche$ in m^2
$B = Magnetische\ Flussdichte$ in T

Kondensator

Definitionsgleichung

$$I = C \cdot \frac{\Delta_U}{\Delta_t}$$

I = *Strom* in A
C = *Kapazität* in F
Δ_U = *Spannungsänderung*
Δ_t = *Zeitänderung*

Kapazität

$$C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \qquad C = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{d} \cdot (n-1)$$

$$\epsilon_0 = \frac{d \cdot C}{\epsilon_r \cdot A} \qquad \epsilon_r = \frac{d \cdot C}{\epsilon_0 \cdot A}$$

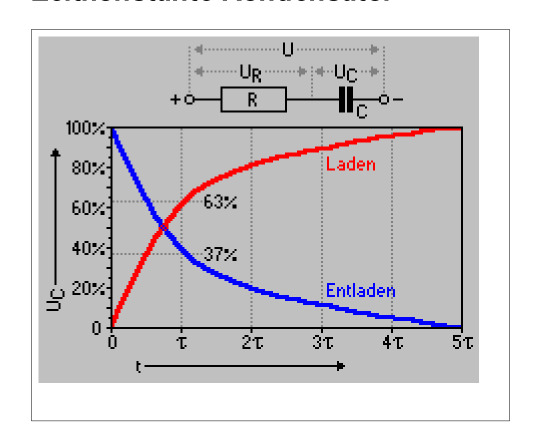
$$d = \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot A}{C} \qquad A = \frac{d \cdot C}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r}$$

C = *Kapazität* in F
ϵ_0 = *physikalische Dielektrititätskonstante von* $8.85 \cdot 10^{-12}$
ϵ_r = *Material Dielektrititätskonstante* (bei *Luft* = 1)
A = *Plattenfläche* in m^2 ($1\,cm^2 = 0.0001\,m^2$)
d = *Plattenabstand* in m
n = *Anzahl der Platten*

Merke:
Die Kapazität eines Kondensators wird durch seine baulichen Grössen bestimmt.
Ein kapazitiver Widerstand ist der Wechselstrom- oder Blindwiderstand eines Kondensators.
Die Kapazität C ist umso grösser,

- je grösser die Plattenoberfläche (A)
- je kleiner der Plattenabstand (d)
- wen der Plattenabstand (Luftkondensator) verdoppelt wird, wird die Kapazität auf die Hälfte reduziert.
- Der Kondensator stellt für Gleichstrom eine unüberwindbare Hürde dar, hingegen für Wechselstrom je nach Frequenz einen Widerstand (Xc).
- je besser die Dipolbildung im Dielektrikum (relative Dielektrizitätszahl ε_r)
- je grösser die absolute Dielektrizitätskonstante ε_O

Zeitkonstante Kondensator



$$\tau = R \cdot C \qquad R = \frac{\tau}{C} \qquad C = \frac{\tau}{R}$$

Ganz geladen in $t \approx 5 \cdot \tau$

C = *Kapazität* in F
R = *Widerstand* in Ω
τ = *Zeitkonstante* in s
t = *Ladedauer* in s

Serienschaltung von Kondensatoren

$$C_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \frac{1}{C_n}}$$

$$C_1 = \frac{1}{\frac{1}{C_{tot}} - \frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_3} - \frac{1}{C_n}}$$

$$C_{tot} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

$$C_{tot} = \frac{C}{n}$$

Merke:
Die Gesamtkapazität der Serienschaltung ist kleiner als die kleinste Einzelkapazität.

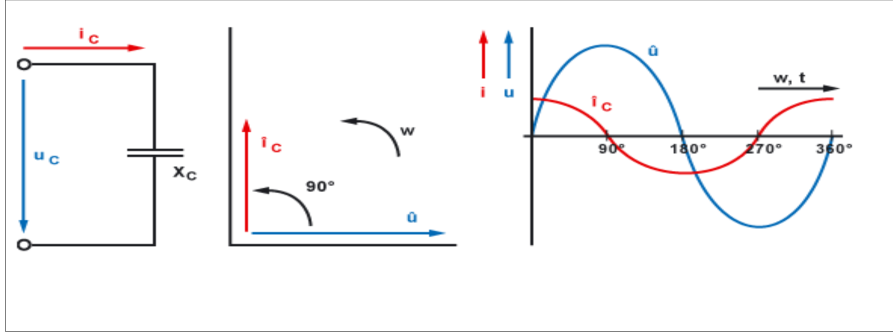
Parallelschaltung von Kondensatoren

$$C_{tot} = C_1 + C_2 + C_3 + C_n$$

$$C_{tot} = n \cdot C$$

Merke:
Die Gesamtkapazität ist gleich der Summe der Einzelkapazitäten.

Kondensator im Wechselstromkreis (Kapazitiver Blindwiderstand)

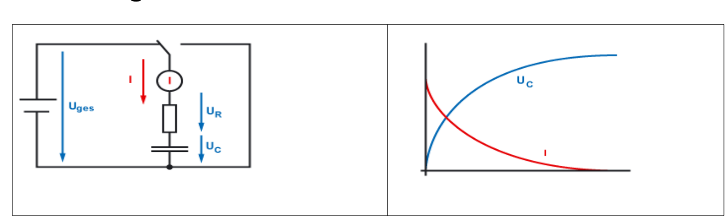


Merke:
Die Spannung eilt dem Strom um 90° nach. Man spricht auch davon, dass der Strom der Spannung um 90° vorauseilt.

Widerstand	Spannung	Strom	Kapazität	Frequenz
$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$ $f = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot X_C}$ $X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$	$U_C = \frac{I_C}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $U_C = \frac{I_C}{\omega \cdot C}$ $U_C = I_C \cdot X_C$ $U_C = \frac{Q_C}{I_C}$	$I_C = U_C \cdot 2\pi \cdot f \cdot C$ $I_C = U_C \cdot \omega \cdot C$ $I_C = \frac{U_C}{X_C}$ $I_C = \frac{Q_C}{U_C}$	$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot X_C}$ $X_C = \frac{1}{\omega \cdot X_C}$ $C = \frac{Q_C}{U_C^2 \cdot 2\pi \cdot f}$ $C = \frac{Q_C}{U_C^2 \cdot \omega}$ $W_L = W_C$ $C = \frac{L \cdot I^2}{U^2}$ $C = \frac{I}{2\pi \cdot f \cdot U}$	$f = \frac{1}{2\pi \cdot C \cdot X_C}$ $\omega = 2\pi \cdot f$

Kondensator an Gleichspannung

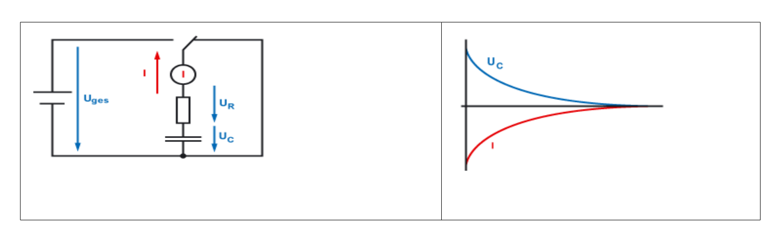
Aufladung



$$u_C = U(1 - e^{-t/RC})$$
$$i_C = I \cdot e^{-t/RC}$$

$u_C =$ *Augenblickswert der Kondesatorspannung*
$i_C =$ *Augenblickswert des Kondesatorstrommes*
$U, I =$ *Anfangs – bzw. Endwert von Spannung und Strom*
$t =$ *Zeit*
$e =$ *Basis des natürlichen Logarithmus*
$R =$ *Widerstand*
$C =$ *Kondensatorkapazität*

Entladung



$$u_C = U \cdot e^{-t/RC}$$
$$i_C = I \cdot e^{-t/RC}$$

$u_C =$ *Augenblickswert der Kondesatorspannung*
$i_C =$ *Augenblickswert des Kondesatorstrommes*
$U, I =$ *Anfangs- bzw. Endwert von Spannung und Strom*
$t =$ *Zeit*
$e =$ *Basis des natürlichen Logarithmus*
$R =$ *Widerstend*
$C =$ *Kondensatorkapazität*

- C und R an Gleichspannung. Aufladezeit und Entladezeit sind um so länger, je grösser der Vorwiderstand und die Kapazität ist.

Ladung (Elektrizitätsmenge)

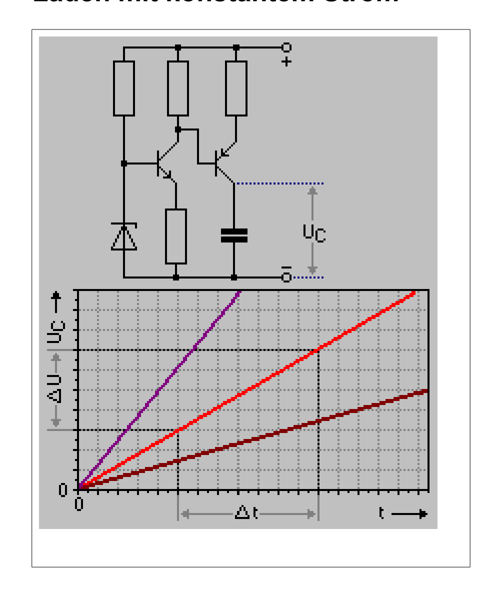
$$Q = I \cdot t \quad t = \frac{Q}{I} \quad I = \frac{Q}{t}$$

$$Q = C \cdot U \quad U = \frac{Q}{C} \quad C = \frac{Q}{U}$$

$$t = \frac{C \cdot U}{I} \quad C = \frac{I \cdot t}{U} \quad U = \frac{I \cdot t}{C}$$

$Q =$ *Ladung* in *Ampersekunden*
$C =$ *Kapazität* in F
$U =$ *Spannung* in V
$I =$ *Strom* in A
$t =$ *Ladezeit* in s

Laden mit konstantem Strom



$$C = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta U} \quad I = \frac{C \cdot \Delta U}{\Delta t}$$

$$\Delta U = \frac{I \cdot \Delta t}{C} \quad \Delta t = \frac{C \cdot \Delta U}{I}$$

$C =$ *Kapazität* in F
$I =$ *Stromstärke* in A
$\Delta U =$ *Spannungsänderung* in V
$\Delta t =$ *Zeitdifferenz* in s

Spule

Definitionsgleichung

$$L = \frac{N^2}{R_M}$$

$L =$ *Induktivität* in H
$N =$ *Windungszahl dimensionslos*
$R_M =$ *magnetischer Widerstand*

Merke:

- Die Windungszahl hat einen direkten Einfluss auf die Spule L.
- Verdoppeln wir bei einer Spule die Windungszahl so wird L 4x grösser.
- Verdoppeln wir bei einer Spule den Durchmesser Windungszahl so wird L 4x grösser.
- Wird in einer Spule ein Kern eingefügt, so wird L grösser.
- Zieht man eine Spule in die Länge, so wird L kleiner.
- Die Spule stellt für Gleichstrom einen sehr kleinen Widerstand dar, hingegen für einen Wechselstrom mit steigender Frequenz einen grösseren Widerstand.
- Durch Parallelschaltung von zwei Spulen erreicht man eine Verringerung der Induktivität.
- Der ohmische Widerstand einer Kupferspule erhöht sich bei Erwärmung.
- Die starke Drosselung der Stromstärke einer Spule hängt mit der magnetischen Wirkung des Stromes zusammen.
- Bei einer bifilar gewickelte Spule wird die eine Hälfte der Windungen rechtsläufig und die andere Hälfte linksläufig gewickelt.

Induktivität

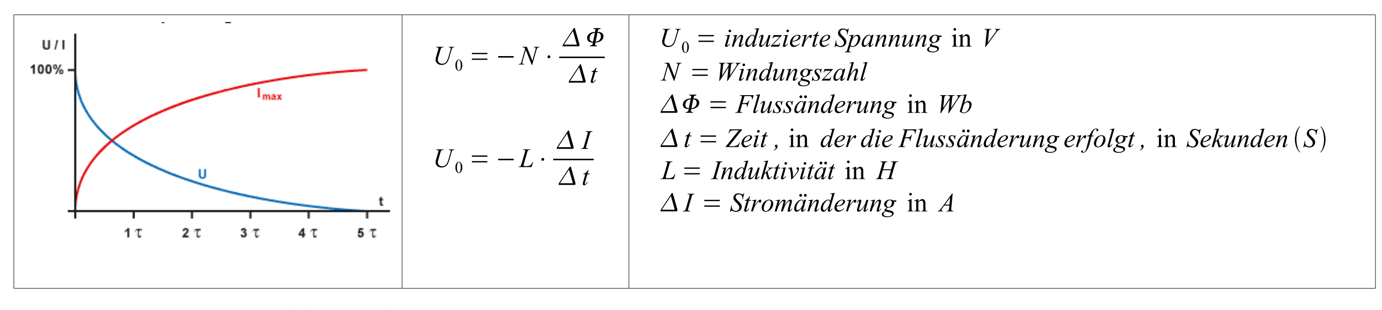
$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A \cdot N^2}{l} \qquad A = \frac{L \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot N^2}$$

$$\mu_r = \frac{L \cdot l}{\mu_0 \cdot A \cdot N^2} \rightarrow \mu_0 = \frac{L \cdot l}{\mu_r \cdot A \cdot N^2}$$

$$N = \sqrt{\frac{L \cdot l}{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot A}}$$

$L =$ *Induktivität* in H
$\mu_0 =$ *physikalische Permeabilitätskonstante*
$(1,256 \cdot 10^{-8} \frac{V_s}{A_{cm}})$ *oder* $12,56 \cdot 10^{-9}$
$\mu_r =$ *Material Permeabilitätskonstante*
(*dimensionslos, bei einer Luftspule* $= 1$)
$N =$ *Anzahl Windungen*
$l =$ *mittlere Feldlinienlänge* (*Länge Draht*) in m
$A =$ *Querschnittsfläche* in m^2

Induktionsgesetz



$$U_0 = -N \cdot \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

$$U_0 = -L \cdot \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

$U_0 =$ *induzierte Spannung* in V
$N =$ *Windungszahl*
$\Delta \Phi =$ *Flussänderung* in Wb
$\Delta t =$ *Zeit*, in *der die Flussänderung erfolgt*, in *Sekunden* (S)
$L =$ *Induktivität* in H
$\Delta I =$ *Stromänderung* in A

$$L = \frac{\Phi \cdot N}{I}$$

$L =$ *Induktivität* in H
$\Phi =$ *magnetischer Fluss* in *Weber*
$I =$ *Strom* in A

$$U_{Si} = -L \cdot \frac{\Delta_I}{\Delta_t}$$

$U_{Si} =$ *Selbstinduktionsspannung* in V
$L =$ *Induktivität* in H
$I =$ *Strom* in A
$t =$ *Zeit* in s

$$L = \frac{U}{\frac{\Delta_I}{\Delta_t}} = \frac{U \cdot \Delta_t}{\Delta_I} = \frac{U \cdot t}{I} = (\frac{V_s}{A})$$

$$L = \frac{U \cdot t}{I} \qquad U = \frac{L \cdot I}{t}$$

$L =$ *Induktivität* in H
$I =$ *Strom* in A
$t =$ *Zeit* in s
$U =$ *induzierte Spannung* in V
$V_s =$ *Voltsekunde*

Serienschaltung

$L_{tot} = L_1 + L_2 + L_3 + L_n$ $\quad L_{tot} = Totalinduktivität \text{ in } H$

$L_1 - L_n = Induktivität \text{ in } H$

Merke:
Die Gesamtinduktivität ist gleich der Summe der Einzelinduktivitäten.

Parallelschaltung

$$L_{tot} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

$L_{tot} = Totalinduktivität \text{ in } H$

$L_1 - L_n = Induktivität \text{ in } H$

$$L_{tot} = \frac{1}{\frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} + \frac{1}{L_n}}$$

$$L_{tot} = \frac{L_{einzel}}{n}$$

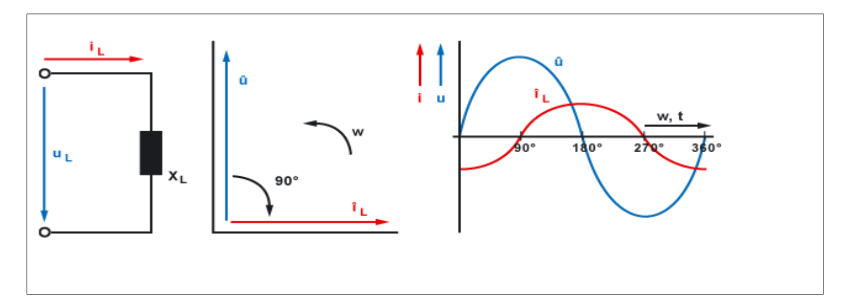
$L_{tot} = Totalinduktivität \text{ in } H$

$L_{einzel} = bei\ gleich\ grossen\ Spulen$

$n = Anzahl\ Spulen$

Merke:
Die Gesamtinduktivität der Parallelschaltung ist kleiner als die kleinste Einzelinduktivität.

Spule an Wechselspannung (Induktiver Blindwiderstand)



Merke:
Der Strom eilt der Spannung um 90° nach. Man spricht auch davon, dass die Spannung dem Strom um 90° vorauseilt.

$$X_L = \frac{U_L}{I_L}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$$

- X_L steigt bei zunehmender Frequenz
- X_C sinkt bei zunehmender Frequenz

Spule an Gleichspannung

Zeitkonstante

$$\tau = \frac{L}{R} \qquad R = \frac{L}{\tau} \qquad L = R \cdot \tau$$

$\tau = Zeitkonstante \text{ in } s$

$L = Induktivität \text{ in } H$

$R = Widerstand \text{ in } \Omega$

Verlustwiderstand

$$Q = \frac{X_L}{R_V} = \frac{\omega \cdot L}{R_V}$$

$Q = Güte$

$X_L = Induktiver\ Blindwiderstand \text{ in } \Omega$

$R_V = Verlustwiderstand \text{ in } \Omega$

$\omega = Kreisfrequenz \text{ in } Hz$

$L = INduktivität \text{ in } H$

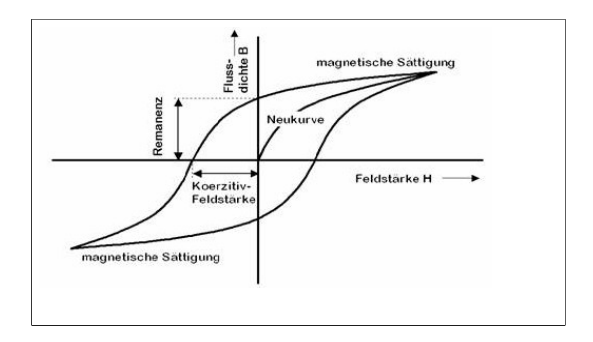
Windungszahl Spule

$$L = A_L \cdot N^2$$

$$N = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

$$N_{neu} = \sqrt{\frac{{N_{alt}}^2 \cdot L_{neu}}{L_{alt}}}$$

$L = Induktivität$ in H
$A_L =$ $Spulenkonstante\ vom\ Hersteller$
$N = Windungszahl$



Thomsonsche Schwingungsformel – Schwingkreis

$$X_C = X_L = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

oder

$$\left(\frac{1}{\omega \cdot C} = \omega \cdot L\right)$$

$X_C =$ $kapazitiver\ Blindwiderstand$ in Ω
$X_L =$ $induktiver\ Blindwiderstand$ in Ω
$\omega = Kreisfrequenz$ in Hz
$C = Kapazität$ in F
$L = Induktivität$ in H
$f_0 = Resonanzfrequenz$ in Hz

$$f_0 = \frac{1}{2\Pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} \qquad L = \frac{1}{(2\Pi \cdot f_0)^2 \cdot C} \qquad C = \frac{1}{(2\Pi \cdot f_0)^2 \cdot L}$$

Formeln zur Berechnung der Resonanzfrequenz gilt für Parallel *−und Seriellschingkreis.*

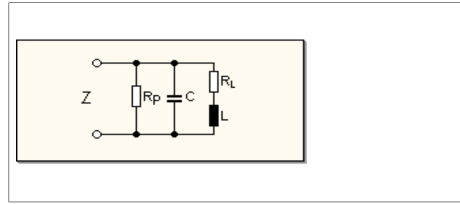
- Durch die Vergrösserung von L im Schwingkreis, wird die Resonanzfrequenz kleiner.
- Wird eine zweite Spule mit gleicher Induktivität parallel geschaltet wird die Resonanzfrequenz Wurzel 2 grösser

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot C} \qquad C = \frac{1}{\omega^2 \cdot L}$$

$$C_{max} = C_{min} \frac{f^2_{max}}{f^2_{min}}$$

$$Q = \frac{f_0}{B} = \frac{R_p}{X_L} = \frac{X_L}{R_s}$$

$Q = Güte$
$f_0 = Resonanzfrequenz$
$P_p =$ $paralleler\ Verlustwiderstand$
$R_s =$ $serieller\ Verlustwiderstand$
$X_L =$ $Induktiver\ Blindwiderstand$



Ersatzschaltbild eines Schwingkreises

- Die Resonanz-Frequenz wird um $\sqrt{2}$ grösser, wenn eine zweite Spule mit gleicher Induktivität parallel dazu geschaltet wird.

Resonanzfrequenz ohne Dämpfung

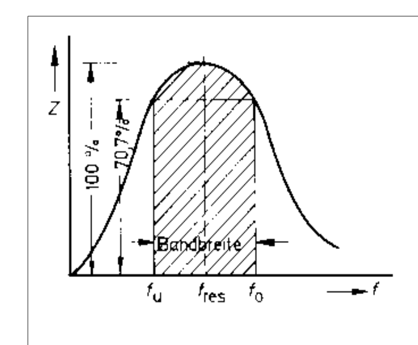
$$f_0 = \frac{\sqrt{\frac{1}{C \cdot L}}}{2 \cdot \Pi} \quad \text{gleiche Formel ist (siehe auch oben)} \quad f_0 = \frac{1}{2\,\Pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

$$X_L = X_C = 2\Pi \cdot L$$

Resonanzfrequenz mit Dämpfung

$$f_0 = \frac{\sqrt{\frac{1}{C \cdot L} - \left(\frac{R_L}{2 \cdot \Pi}\right)^2}}{2 \cdot \Pi}$$

Bandbreite

<table>
<tr>
<td>
</td>
<td>$B = f_{og} - f_{ug}$

$B = f_0 \cdot d = \frac{f_0}{Q} = \frac{R_V}{2\Pi \cdot L}$

$B = \frac{f_0}{Q} \qquad Q = \frac{f_0}{B}$

$d = \frac{1}{Q} = d_L + d_C$</td>
<td>B = Bandbreite in Hz
f_0 = Resonanzfrequenz in Hz
f_{ug} = Untere Grenzfrequenz in Hz
f_{og} = Obere Grenzfrequenz in Hz
L = Induktivität in H
Q = Güte dimensionslos
R_V = Reihenverlustwiderstand in Ω
d = Dämpfungsfaktor dimensionslos
d_L = Verlustfaktor der Spule dimensionslos
d_C = Verlustfaktor des Jondensators dimensionslos</td>
</tr>
</table>

- Grosse Güte ⇔ kleine Bandbreite
- Kleine Güte ⇔ grosse Bandbreite

$$B_{FM} = 2 \cdot (Hub + NF_{max}) = 2 \cdot (M + 1) \cdot NF_{max}$$

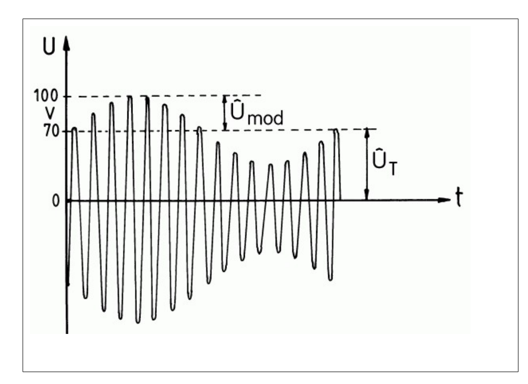
$$SSB = NF_{max} - NF_{min}$$

$$AM = 2 \cdot NF_{max}$$

B_{FM} = Bandbreite FM − Signal
Hub = Frequenzhub
NF_{max} = NF − Modulationsfrequenz
M = Modulationsindex

- FM = Amplitude konstant, Frequenz und Hub variabel

Modulationsgrad



$$m = \frac{\hat{U}_{mod}}{\hat{U}_T} = \frac{U_{NF}}{U_{HF}} \cdot (100\ \%)$$

m = Modulationsgrad
$\hat{U}_T$ = Trägerspannung unmoduliert (Mittelwert AM − Signal)
$\hat{U}_{mod}$ = Modulationsspannung Amplitude
U_{HF} = HF − Spannung (Träger)
U_{NF} = NF − Spannung (Modulation)

Shapefaktor

$$F = \frac{B_{60\text{dB}}}{B_{6\text{dB}}}$$

$F = Shapefaktor$
$B_{60\text{dB}} = Bandbreite\ bei\ -60\ dB$
$B_{6\text{dB}} = Bandbreite\ bei\ -6\ dB$

Kreisdämpfung

$$d = R_L \sqrt{\frac{C}{L}} + \frac{1}{R_p}\sqrt{\frac{L}{C}}$$

Kreisgüte

$$Q = \frac{1}{d}$$

Resonanzwiderstand

$$R_0 = \frac{L}{R_L \cdot C + \frac{L}{R_P}}$$

Grenzfrequenz

$$f_{grenz} = \frac{1}{2\Pi \cdot R \cdot C}$$

$f_{grenz} = Grenzfrequenz$ in Hz
$R = Widerstand$ in Ω
$C = Kapazität$ in C

$$f_{grenz} = \frac{R}{2\Pi \cdot L}$$

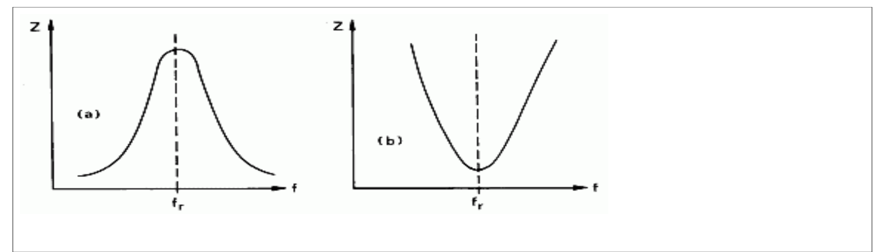
Seriellschwingkreis

	Resonanz-widerstand	Schwingkreisgüte	
	$Z_0 = R_V = R_{res}$ $Z_0 = \frac{U_{ges}}{I}$	$Q = \frac{U_L}{U_{ges}} = \frac{U_C}{U_{ges}}$ $Q = \frac{X_L}{R_V} = \frac{X_C}{R_V}$ $Q = \frac{\omega \cdot L}{R_V} = \frac{1}{\omega \cdot C \cdot R_V}$ $Q = \frac{1}{R_V} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ $R_V = \frac{X_L}{Q}$	U_{ges} = *Gesamtspannung* in *V* U_L = *Spannung an L* in *V* U_C = *Spannung an C* in *V* X_L = *Blindwiderstand* in *Ω* X_C = *Kapazitiver Blindwiderstand* in *Ω* R_V = *Serieller Verlustwiderstand* in *Ω* Q = *Güte dimensionslos* **Merke:** 1. R_V ist Q mal kleiner als X_L 2. X_L ist Q mal grösser als R_V

Parallelschwingkreis

	Resonanz-widerstand	*Schwingkreisgüte*	
	$Z_0 = R_p = R_{res}$ $Z_0 = \frac{U_{ges}}{I_{ges}}$ $Z_0 = \frac{L}{C \cdot R_v}$ $Z_0 = \frac{(\omega \cdot L)^2}{R_V}$ $Z_0 = Q^2 \cdot R_V$ $Z_0 = Q \cdot X_L$ $R_p = \frac{L}{c \cdot R_v}$ $R_P = Q \cdot X_L$	$Q = \frac{I_L}{I_{ges}} = \frac{I_C}{I_{ges}}$ $Q = \frac{R_P}{X_L} = \frac{R_P}{X_C}$ $Q = \sqrt{\frac{Z_0}{R_V}} = Z_0 \sqrt{\frac{C}{L}}$ $U = R_p \cdot I$ *Wenn Resonanz*	Q = *Güte dimensionslos* R_v = *Reihenverlustwiederstand* in *Ω* R_p = *Resonanzwiederstand* in *Ω* $Z_0 = R_{res}$ = *Resonanzwiderstand* in *Ω* I_{ges} = *Gesamtstrom* in *A* I_L = *Strom durch L* in *A* I_C = *Strom durch C* in *A*

Merke:
1. R_S ist also Q mal kleiner als X_L
2. X_L ist Q mal grösser als R_S
3. Ein guter Schwingkreis (mit hohem Z_0) hat ein hohes L/C-Verhältnis.

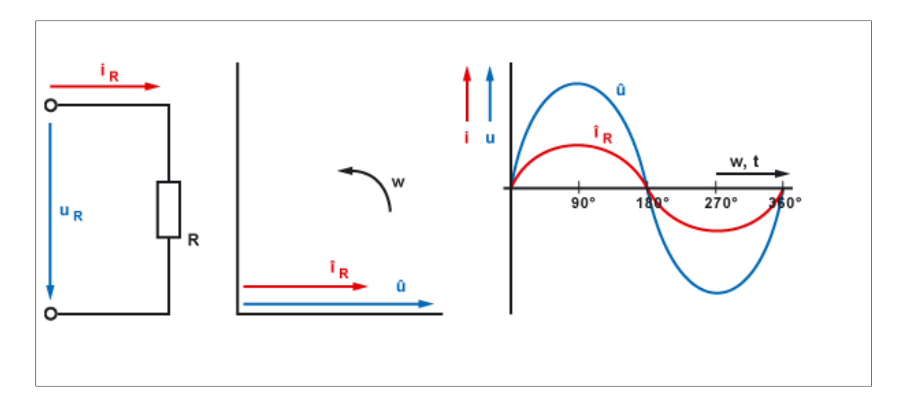


- Beim Parallelschwingkreis (Bild links) ist der Scheinwiderstand (Impedanz)bei der Resonanzfrequenz am grössten.
- Beim Serienschwingkreis (Bild rechts) ist er dort am kleinsten.

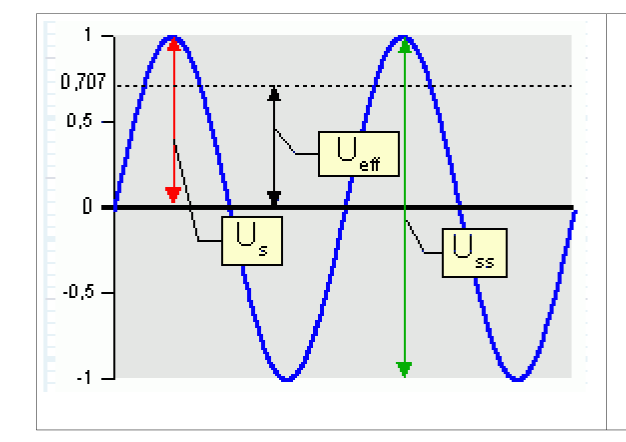
Impedanz Z	**Parallel**	**Serie**
unterhalb f_0	Induktiv	Kapazitiv
bei f_0	sehr hoch (ohmsch)	sehr niedrig (ohmsch)
oberhalb f_0	Kapazitiv	Induktiv

Wechselspannung

Wirkwiderstand im Wechselstromkreis



- Ein Wirkwiderstand im Wechselstromkreis verursacht keine Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom.



$U_S = U_{Spitze}$ *Spitzenspannung*
$U_{SS} = U_{Spitze} - Spitze$ *Spitzen − Spitzenspannung*
$U_{eff} = U_{effektif}$ *Effektivspannung*

Effektivspannung

$U_{eff} = \frac{U_s}{\sqrt{2}}$ oder $U_{eff} = \frac{U_s}{1.414}$ oder $U_{eff} = U_s \cdot 0.707$

$U_s = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$ oder $U_s = U_{eff} \cdot 1.414$ oder $U_s = \frac{U_{eff}}{0.707}$

$U_{eff} = \frac{U_{ss}}{2 \cdot \sqrt{2}}$ $U_{ss} = U_{eff} \cdot \sqrt{2} \cdot 2$ $U_s = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$

$U_{ss} = 2 \cdot U_s$ $U_{ss} = 2 \cdot U_{eff} \cdot \sqrt{2}$

$U_s = R \cdot I_s$ $U_s = \sqrt{P_s \cdot R}$ $U_s = \frac{P_s}{I_s}$

$U_{eff} = R \cdot I_{eff}$ $U = \sqrt{P_{eff} \cdot R}$ $U = \frac{P_{eff}}{I_{eff}}$

U_{eff} = *Effektivspannung* in V
U_s = *Spitzenspannung* in V
U_{ss} = *Spitzen−Spitzenspannung* in V
I_{eff} = *Effektivstrom* in A
I_s = *Spitzenstrom* in A
I_{ss} = *Spitzen−Spitzenstrom* in A
R = *Widerstand (Verbraucher)* in Ω
P_{eff} = *Effektivleistung* in W
P_s = *Spitzenleistung* in W
P_{ss} = *Spitzen−Spitzenleistung* in W

Effektivstrom

$I_{eff} = \frac{I_s}{\sqrt{2}}$ $I_{eff} = \frac{I_s}{1.414}$ $I_{eff} = I_s \cdot 0.707$

$I_{eff} = \frac{U_{eff}}{R}$ $I_{eff} = \sqrt{\frac{P_{eff}}{R}}$ $I_{eff} = \frac{P_{eff}}{U_{eff}}$

U_{eff} = *Effektivspannung* in V
$U_s = U_{max}$ = *Spitzenspannung* in V
I_{eff} = *Effektivstrom* in A
$I_s = I_{max}$ = *Spitzenstrom* in A
R = *Widerstand (Verbraucher)* in Ω
P_{eff} = *Effektivleistung* in W
$P_s = P_{max}$ = *Spitzenleistung* in W

Spitzenstrom

$I_s = I_{eff} \cdot \sqrt{2}$ $I_s = I_{eff} \cdot 1.414$ $I_s = \frac{I_{eff}}{0.707}$

$I_s = \frac{U_s}{R}$ $I_s = \sqrt{\frac{P_s}{R}}$ $I_s = \frac{P_s}{U_s}$

U_{eff} = *Effektivspannung* in V
$U_s = U_{max}$ = *Spitzenspannung* in V
I_{eff} = *Effektivstrom* in A
$I_s = I_{max}$ = *Spitzenstrom* in A
R = *Widerstand (Verbraucher)* in Ω
P_{eff} = *Effektivleistung* in W
$P_s = P_{max}$ = *Spitzenleistung* in W

Effektivleistung

$P_{eff} = \frac{P_s}{2}$ $P_{eff} = P_s \cdot O.5$

$P_{eff} = \frac{U_{eff}^2}{R}$ $P_{eff} = I_{eff}^2 \cdot R$

$P_{eff} = U_{eff} \cdot I_{eff}$

U_{eff} = *Effektivspannung* in V
I_{eff} = *Effektivstrom* in A
P_{eff} = *Effektivleistung* in W
R = *Widerstand (Verbraucher)* in Ω

Spitzenleistung

$P_s = P_{eff} \cdot 2$ $P_s = \frac{P_{eff}}{0.5}$ $P_s = \frac{U_s^2}{R}$

$P_s = I_s^2 \cdot R$ $P_s = I_s \cdot U_s$

$U_s = U_{max}$ = *Spitzenspannung* in V
$I_s = I_{max}$ = *Spitzenstrom* in A
P_{eff} = *Effektivleistung* in W
$P_s = P_{max}$ = *Spitzenleistung* in W
R = *Widerstand (Verbraucher)* in Ω

Serienschaltung von Wirkwiderstand und Induktivität

R = *Wirkwiderstand* in Ω X_L = *induktiver Blindwiderstand* in Ω Z = *Scheinwiderstand* in Ω U_W = *Wirkspannung* in V U_L = *induktive Blindspannung* in V U = *Spannung* in V I_W = *Wirkstrom* in A I_L = *induktiver Wirkstrom* in A I = *Nennstrom* in A	P = *Wirkleistung* in W Q_L = *induktive Blindleistung* in Var S = *Scheinleistung* in VA L = *Induktivität* in H $\cos\varphi$ = *Wirkleistungsfaktor* $\sin\varphi$ = *Blindleistungsfaktor*

Widerstand	**Spannung**	**Strom**
$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ $R = \frac{U_W}{I} \quad R = \sqrt{Z^2 - X_L^2}$ $R = Z \cdot \cos\varphi$ $X_L = \frac{U_L}{I} \quad X_L = 2\Pi \cdot f \cdot L$ $L = \frac{X_L}{2\Pi \cdot f} \quad f = \frac{X_L}{2\Pi \cdot L}$ $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad X_L = Z \cdot \sin\varphi$ $Z = \frac{U}{I} \quad Z = \frac{R}{\cos\varphi} \quad Z = \frac{X_L}{\sin\varphi}$	$U = \frac{U_{max}}{\sqrt{2}}$ $U_W = I \cdot R \quad U_W = \sqrt{U^2 - U_L^2}$ $U_W = U \cdot \cos\varphi$ $U_L = I \cdot X_L \quad U_L = \sqrt{U^2 - U_W^2}$ $U_L = U \cdot \sin\varphi$ $U = I \cdot Z \quad U = \sqrt{U_W^2 + U_L\,2}$ $U = \frac{U_W}{\cos\varphi} \quad U = \frac{U_L}{\sin\varphi}$	$I = \frac{U}{Z}$

Leistung	Winkel
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ $S = U \cdot I$	$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ $\cos\varphi = \frac{U_W}{U}$ $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ $\sin\varphi = \frac{X_L}{Z}$ $\sin\varphi = \frac{U_L}{U}$ $\sin\varphi = \frac{Q_L}{S}$ $\sin\varphi = \frac{U_C}{U}$

Serienschaltung von Wirkwiderstand und Spule

RL-Schaltung

Widerstand	Spannung	Strom

$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \quad Z = \sqrt{(R + R_W)^2 + X_L^2}$ $R + R_W = \frac{U_W}{I} \quad R + R_W = \sqrt{Z^2 - X_L^2}$ $R + R_W = Z \cdot \cos\varphi \quad X_L = \frac{U_L}{I}$ $X_L = \sqrt{Z^2 - (R + RW)^2} \quad X_L = Z \cdot \sin\varphi$ $Z = \frac{U}{I} \quad Z = \sqrt{(R + R_W)^2 + X_L^2}$ $Z = \frac{R + R_W}{\cos\varphi} \quad Z = \frac{X_L}{\sin\varphi}$	$U_W = I \cdot (R + R_W) \quad U_W = \sqrt{U^2 - U_L^2}$ $U_W = U \cdot \cos\varphi$ $U_L = I \cdot X_L \quad U_L = \sqrt{U^2 - U_W^2}$ $U_L = U \cdot \sin\varphi$ $U = I \cdot Z \quad U = \sqrt{U_W^2 + U_L^2}$ $U = \frac{U_W}{\cos\varphi} \quad U = \frac{U_L}{\sin\varphi}$	$I = \frac{U}{Z}$

Leistung	**Winkel**
S, Q_L, φ, P	Z, X_L, φ, $R+R_W$
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ $S = U \cdot I$	$\cos\varphi = \frac{R + R_W}{Z} \quad \cos\varphi = \frac{U_W}{U}$ $\cos\varphi = \frac{P}{S}$ $\sin\varphi = \frac{X_L}{Z} \quad \sin\varphi = \frac{U_C}{U}$ $\sin\varphi = \frac{U_L}{U} \quad \sin\varphi = \frac{Q_L}{S}$

Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Spule

RL-Schaltung

Widerstand	**Spannung**	**Strom**
Z, X_L, φ, R		

$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$

$\frac{1}{Z} = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{X_L})^2}$

$R = \frac{U}{I_W}$ $\frac{1}{R} = \sqrt{(\frac{1}{Z})^2 - (\frac{1}{X_L})^2}$

$R = \frac{Z}{\cos\varphi}$ $X_L = \frac{U}{I_L}$

$\frac{1}{X_L} = \sqrt{(\frac{1}{Z})^2 - (\frac{1}{R})^2}$ $X_L = \frac{Z}{\sin\varphi}$

$Z = \frac{U}{I}$ $\frac{1}{Z} = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{X_L})^2}$

$Z = R \cdot \cos\varphi$ $Z = X_L \cdot \sin\varphi$

$U = I \cdot Z$

$I_W = \frac{U}{R}$ $I_W = \sqrt{I^2 - I_L^2}$

$I_W = I \cdot \cos\varphi$

$I_L = \frac{U}{X_L}$ $I_L = \sqrt{I^2 - I_W^2}$

$I_W = I \cdot \sin\varphi$

$I = \frac{U}{Z}$ $I = \sqrt{I_W^2 + I_L^2}$

$I = \frac{I_W}{\cos\varphi}$ $I = \frac{I_L}{\sin\varphi}$

Leistung

$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$

$Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$

$S = U \cdot I$

Winkel

$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ $\cos\varphi = \frac{I_W}{I}$

$\cos\varphi = \frac{P}{S}$

$\sin\varphi = \frac{X_L}{Z}$ $\sin\varphi = \frac{I_C}{I}$

$\sin\varphi = \frac{I_L}{I}$ $\sin\varphi = \frac{Q_L}{S}$

Serienschaltung von Wirkwiderstand und Kondensator

RC-Schaltung

Widerstand	**Spannung**	**Strom**
$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ $R = \frac{U_W}{I}$ $R = \sqrt{Z^2 - X_C^2}$ $R = Z \cdot \cos\varphi$ $X_C = \frac{U_C}{I}$ $X_C \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $X_C = \sqrt{Z^2 - R^2}$ $X_C = Z \cdot \sin\varphi$ $Z = \frac{U}{I}$ $Z = \sqrt{R^2 - X_C^2}$ $Z = \frac{R}{\cos\varphi}$ $Z = \frac{X_C}{\sin\varphi}$	$U_W = I \cdot R$ $U_W = \sqrt{U^2 - U_C^2}$ $U_W = U \cdot \cos\varphi$ $U_C = I \cdot X_C$ $U_C = \sqrt{U^2 - U_W^2}$ $U_C = U \cdot \sin\varphi$ $U = I \cdot Z$ $U = \sqrt{U_W^2 + U_C^2}$ $U = \frac{U_W}{\cos\varphi}$ $U = \frac{U_C}{\sin\varphi}$	$I = \frac{U}{Z}$

Leistung	**Winkel**
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ $S = U \cdot I$	$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ $\cos\varphi = \frac{U_W}{U}$ $\sin\varphi = \frac{X_C}{Z}$ $\sin\varphi = \frac{U_C}{U}$

Parallelschaltung von Wirkwiderstand und Kondensator

RC-Schaltung

Widerstand	**Spannung**	**Strom**
$R = \frac{U}{I_W}$ $\quad \frac{1}{R} = \sqrt{(\frac{1}{Z})^2 - (\frac{1}{X_C})^2}$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{Z} \cdot \cos\varphi$ $X_C = \frac{U}{I_C}$ $\quad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $\frac{1}{X_C} = \sqrt{(\frac{1}{Z})^2 - (\frac{1}{R})^2}$ $\quad \frac{1}{X_C} = \frac{1}{Z} \cdot \sin\varphi$ $Z = \frac{U}{I}$ $\quad \frac{1}{Z} = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{X_C})^2}$ $\frac{1}{Z} = \frac{1/R}{\cos\varphi}$ $\quad \frac{1}{Z} = \frac{1/X_C}{\sin\varphi}$	$U = I \cdot Z$	$I_W = \frac{U}{R}$ $\quad I_W = \sqrt{I^2 - I_C^2}$ $I_W = I \cdot \cos\varphi$ $I_L = \frac{U}{X_C}$ $\quad I_C = \sqrt{I^2 - I_W^2}$ $I_C = I \cdot \sin\varphi$ $I = \frac{U}{Z}$ $\quad I = \sqrt{I_W^2 + I_C^2}$ $I = \frac{I_W}{\cos\varphi}$ $\quad I = \frac{I_C}{\sin\varphi}$

Leistung	**Winkel**
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ $S = U \cdot I$	$\cos\varphi = \frac{I_W}{I}$ $\sin\varphi = \frac{I_C}{I}$

Serienschaltung von Wirkwiderstand, Spule und Kondensator

RLC-Schaltung

Z = R wird bei Resonanzfrequenz erreicht.

Widerstand	**Spannung**	**Strom**
$R = \frac{U_W}{I}$ $R = \sqrt{Z^2 - (X_L - X_C)^2}$ $R = Z \cdot \cos\varphi$ $U_C = \frac{U_C}{I}$ $X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $X_L = \frac{U_L}{I}$ $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ $Z = \frac{U}{I}$ $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ $Z = \frac{R}{\cos\varphi}$ $Z = R_S$ $I = \frac{U_0}{Z(R_S)}$ $X_L = \sqrt{Z^2 - R^2}$ $Z = \sqrt{R^2 - X_C^2}$ $Q = \frac{U_L}{U_0} = \frac{U_C}{U_0} = \frac{X_L}{R_S} = \frac{X_C}{R_S}$	$U_W = I \cdot R$ $U_W = \sqrt{U^2 - (U_L - U_C)^2}$ $U_W = U \cdot \cos\varphi$ $U_C = I \cdot X_C$ $U_L = I \cdot X_L$ $U = I \cdot Z$ $U = \sqrt{U_W{}^2 + (U_L - U_C)^2}$ $U = \frac{U_W}{\cos\varphi}$	$I = \frac{U}{Z}$
Leistung	**Winkel**	
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ $S = U \cdot I$	$\cos\varphi = \frac{R}{Z}$ $\cos\varphi = \frac{U_W}{U}$ $\sin\varphi = \frac{U_L - U_C}{U}$	

Parallelschaltung von Wirkwiderstand, Spule und Kondensator

RLC-Schaltung

Widerstand	Spannung	Strom
$R = \frac{U}{I_W}$ $\quad \frac{1}{R} = \sqrt{(\frac{1}{Z})^2 - ((\frac{1}{X_L}) - (\frac{1}{X_C}))^2}$ $X_C = \frac{U}{I_C}$ $\quad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$ $X_L = \frac{U}{I_L}$ $\quad X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ $Z = \frac{U}{I}$ $\quad \frac{1}{Z} = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + ((\frac{1}{X_L}) - (\frac{1}{X_C}))^2}$ $Z = \frac{1}{\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + ((\frac{1}{X_L}) - (\frac{1}{X_C}))^2}}$ $Q = \frac{X_L}{R_S}$ $\quad R_P = \frac{L}{C \cdot R_S}$ $\quad Q = \sqrt{\frac{R_P}{R_S}}$ $R_P = Z = Q \cdot X_L$ $\quad Q = \frac{1}{R_S} \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$ $R_P = \frac{X_L^2}{R_S}$ $\quad X_L = \sqrt{R_S \cdot R_P}$ $bei\ f_{res} \quad Z = R_P$ $Q = \frac{I_L}{I_{tot}} = \frac{I_C}{I_{tot}} = \frac{R_P}{X_L} = \frac{R_P}{X_C}$	$U = I \cdot Z$	$I_W = \frac{U}{R}$ $\quad I_W = \sqrt{I^2 - (I_L - I_C)^2}$ $I_W = I \cdot \cos\varphi$ $I_C = \frac{U}{X_C}$ $\quad I_L = \frac{U}{X_L}$ $I = \frac{U}{Z}$ $\quad I = \sqrt{I_W^2 + (I_L - I_C)^2}$ $I = \frac{I_W}{\cos\varphi}$
Leistung	**Winkel**	
$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$ $\quad Q_L = U \cdot I \cdot \sin\varphi$ $\quad S = U \cdot I$	$\cos\varphi = \frac{I_W}{I}$ $\quad \sin\varphi = \frac{I_L - I_C}{I}$	

<table>
<tr><th colspan="2">Wirkleistung</th><th colspan="2">Blindleistung</th><th colspan="2">Scheinleistung</th></tr>
<tr><td></td><td>$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi$
$P = \sqrt{S^2 - Q^2}$
$P = \frac{Q}{\tan\varphi}$</td><td></td><td>$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi$
$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$
$Q = P \cdot \tan\varphi$</td><td></td><td>$S = U \cdot I$
$S = \sqrt{P^2 - Q^2}$
$S = \frac{P}{\cos\varphi}$
$S = \frac{Q}{\sin\varphi}$</td></tr>
</table>

Einphasiger Wechselstromkreis

Scheinleistung

$$S = U \cdot I = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{Q}{\sin\varphi}$$

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \qquad U = \frac{S}{I} \qquad I = \frac{S}{U}$$

$S = \mathit{Scheinleistung}$ in $VA = W$
$P = \mathit{Wirkleistung}$ in W
$Q = \mathit{Blindleistung}$ in $var = W$
$U = \mathit{Effektifwert\ der\ Spannung}$ in V
$I = \mathit{Effektivstrom}$ in A
$\cos\varphi = \mathit{Leistungsfaktor}$
$\sin\varphi = \mathit{Blindfaktor}$

Wirkleistung

$$P = U \cdot I \cdot \cos\varphi \qquad P = S \cdot \cos\varphi = \sqrt{S^2 - Q^2}$$

Blindleistung

$$Q = P \cdot I \cdot \sin\varphi \qquad Q = S \cdot \sin\varphi = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Leistungsfaktor

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \quad oder \quad \cos\varphi = \frac{R}{Z} = \frac{U_R}{U_0}$$

$\cos\varphi = \mathit{Leistungsfaktor}$
$P = \mathit{Wirkleistung}$ in W
$S = \mathit{Scheinleistung}$ in $VA = W$
$R = \mathit{Wirkwiderstand}$ in Ω
$Z = \mathit{Impedanz}$ in Ω
$U_R = \mathit{Spannung\ am\ Wirkwiderstand}$ in V
$U_0 = \mathit{Gesamtspannung}$ in V

Phasenverschiebung

$$\varphi\,Bogen = \omega \cdot \Delta t = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \Delta t$$
$$\varphi^O = 360 \cdot f \cdot \Delta t$$
$$\Delta t = \frac{\varphi\,Bogen}{\omega} = \frac{\varphi\,Bogen}{2 \cdot \pi \cdot f}$$
$$\Delta t = \frac{\varphi\,Bogen}{360 \cdot f}$$
$$\lambda = c \cdot f$$

$\Delta t = \mathit{Zeit}$ in s
$f = \mathit{Hertz}$
$c = 343\, m/s$

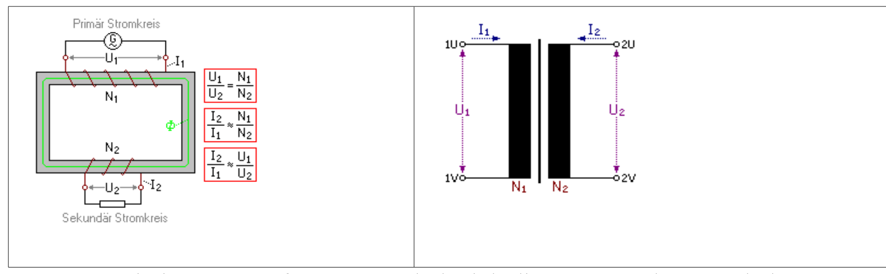
Für I die gleichen Formeln

Frequenzglieder

Hochpass	**CR-Glied**	**RL-Glied**
Passiver Hochpass 2. Ordnung	$U_a = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ $f_{grenz} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$	$U_a = U_e \cdot \frac{X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$ $f_{grenz} = \frac{1}{2\pi \cdot L}$
Tiefpass	**RC-Glied**	**LR-Glied**
Passiver Tiefpass 2. Ordnung	$U_a = U_e \cdot \frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$ $f_{grenz} = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C}$	$U_a = U_e \cdot \frac{R}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$ $f_{grenz} = \frac{R}{2\pi \cdot L}$
	LC-Glied	
	$f_{grenz} = \frac{1}{2\Pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$	

Wechselstromwiderstand	**bei niedriger Frequenz**	**bei hoher Frequenz**
Kondensator X_C	Gross	Klein
Spule X_L	Klein	Gross
Widerstand R	Frequenzunabhängig	

Transformator



- Bei einem Transformator verhält sich die Stromstärke umgekehrt proportional zu den Windungszahlen.
- Bei Verwendung von Dynamoblechen bei Transformatoren sind die Eigenverluste geringer.
- Spannung (U) ist proportional zu Anzahl Wicklungen (N)
- Stromstärke (I) ist umgekehrt proportional zur Spannung (U)
- Stromstärke (I) ist umgekehrt proportional zu Anzahl Wicklungen (N)
- Impedanz (Z) ist proportional zur Spannung^2 (U^2)
- Impedanz (Z) ist proportional zu Anzahl Wicklungen^2 (N^2)

Übersetzungsverhältnis

$$\ddot{u} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_1}{I_2} = \sqrt{\frac{R_1}{R_2}} = \sqrt{\frac{L_1}{L_2}} = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

$$N_1 = \ddot{u} \cdot N_2 \quad \rightarrow \quad N_2 = \frac{N_1}{\ddot{u}}$$

$$U_1 = \ddot{u} \cdot U_2 \quad \rightarrow \quad U_2 = \frac{U_1}{\ddot{u}}$$

$$I_2 = \ddot{u} \cdot I_1 \quad \rightarrow \quad I_1 = \frac{I_2}{\ddot{u}}$$

$$R_1 = \ddot{u}^2 \cdot R_2 \quad \rightarrow \quad R_2 = \frac{R_1}{\ddot{u}^2}$$

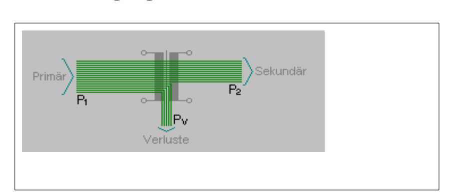
$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2} \quad \rightarrow \quad N_1 = \frac{U_1 \cdot N_2}{U_2} \quad \rightarrow \quad N_2 = \frac{U_2 \cdot N_1}{U_1}$$

$$U_1 = \frac{U_2 \cdot N_1}{N_2} \quad \rightarrow \quad U_2 = \frac{U_1 \cdot N_2}{N_1}$$

$$I_1 = \frac{I_2 \cdot N_2}{N_1} \quad \rightarrow \quad I_2 = \frac{I_1 \cdot N_1}{N_2}$$

$\ddot{u}$ = *Übersetzungsverhältnis , dimensionslos*
N_1 = *Windungszahl der Primärwicklung*
N_2 = *Windungszahl der Sekundärwicklung*
U_1 = *Primärspannung*
U_2 = *Sekundärspannung*
I_1 = *Primärstrom*
I_2 = *Sekundärstrom*
R_1 = *Primärwiderstand*
R_2 = *Sekundärwiderstand*
L_1 = *Induktivität*
L_2 = *Induktivität*
C_1 = *Kapazität*
C_2 = *Kapazität*

Wirkungsgrad



$$P_2 = P_1 \cdot \eta \qquad P_1 = \frac{P_2}{\eta} \qquad \eta = \frac{P_2}{P_1} \qquad (\eta = < 1)$$

$P_1 = Primärleistung$ in VA
$P_2 = Sekundärleistung$ in VA
$\eta = Wirkungsgrad$

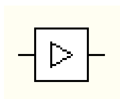
dB-Rechnung

$$Dämpfungsfaktor = \frac{P_{ein}}{P_{aus}} \qquad Verstärkungsfaktor = \frac{1}{Dämpfungsfaktor}$$

Es gilt also

$$Verstärkungsfaktor = \frac{P_{aus}}{P_{ein}} \qquad Dämpfungsfaktor = \frac{1}{Verstärkungsfaktor}$$

Dezibel (dB), Verstärkung



Merke:

- Die Ausgangsspannung bei einem Verstärker ist um den Faktor F grösser als die Eingangsspannung.
- Hat ein Verstärker die gleiche Eingangs- und Ausgangsimpedanz (Widerstand) so ist die Spannungsverstärkung gleich gross wie die Leistungsverstärkung.
- Bei Unterschiedlicher Impedanz (Widerstand Eingang/Ausgang) muss über die Leistung gerechnet werden.

bei Leistung

$$v = 10 \cdot \log(\frac{P_{out}}{P_{in}})$$

$$F = \frac{dB-Wert}{10} 10^x$$

$v = Verstärkung$
$l_g = dekadischer\ Logarithmus$
$P_{in} = Eingangsleistung$
$P_{out} = Ausgangsleistung$
$U_{in} = Eingangsspannung$
$U_{out} = Ausgangsspannung$
$F = Verstärkungsfaktor$

bei Spannung

$$v = 20 \cdot \log(\frac{U_{out}}{U_{in}})$$

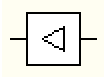
$$F = \frac{dB-Wert}{20} 10^x$$

$$U_{out} = U_{in} \cdot F$$

$3\,dB$ *entspricht einer Verdoppelung*
$1\,Stufe = 6\,dB$

$$P_{out} = P_{in} \cdot F$$

Dezibel (dB), Dämpfung



bei Leistung

$$a = 10 \cdot \log(\frac{P_{out}}{P_{in}})$$

$$F = \frac{dB-Wert}{10} 10^{-x}$$

$a = Dämpfungsfaktor$ in dB
$l_g = dekadischer\ Logarithmus$
$P_{in} = Eingangsleistung$
$P_{out} = Ausgangsleistung$
$U_{in} = Eingangsspannung$
$U_{out} = Ausgangsspannung$
$F = Faktor$

Hinweis:
Bei der Dämpfung bei 10^{-x} *das Minus weglassen*
Resultat wird dann Minus und man kann bei Resultat das Minus ebenfalls weglassen

bei Spannung

$$a = 20 \cdot \log\left(\frac{U_{out}}{U_{\text{in}}}\right)$$

$$F = \frac{dB-Wert}{20}\,10^{-x}$$

$$U_{out} = U_{\text{in}} \cdot F$$

Spannung

$$x = \frac{dB-Wert}{20}$$

Leistung

$$x = \frac{dB-Wert}{10}$$

$$F = 10^{-x} \qquad F = 10^{-x}$$

$$U_{out} = U_{\text{in}} \cdot F \qquad P_{out} = P_{\text{in}} \cdot F$$

dBm-Bezugswert

$0\ dBm \Rightarrow 1\text{mW}\ an\ 50\,\Omega$

$P_a = Ausgansleistung$ in W
$U_a = Ausgansspannung$ in V
$R_a = Ausganswiderstand$ in Ω
$I_a = Ausgansstrom$ in A

$$P_a = \frac{U_a^{\,2}}{R_a} = I_a^{\,2} \cdot R_a$$

$$U_a = \sqrt{P_a \cdot R_a}$$

$$I_a = \sqrt{\frac{P_a}{R_a}}$$

bei Leistung

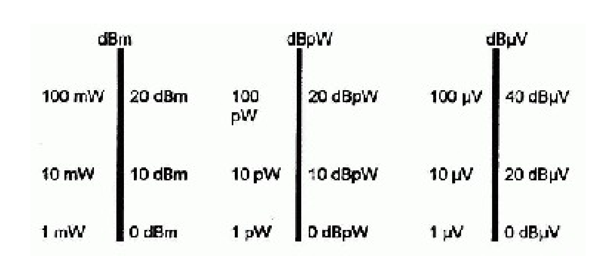
$$a_{dBm} = 10 \cdot lg\frac{P_X}{P_0}$$

$a_{dBm} = absolute\ Leistung$
$lg = dekadischer\ Logarithmus$
$P_x = gesuchte\ Leistung$ in W
$P_0 = aboluter\ Leistungspegel\ \left(1_{mW}\ an\ 50\,\Omega\left(Amateurfunk\right)\right)$

bei Spannung

$$a_{dBm} = 20 \cdot lg\frac{U_X}{U_0}$$

$a_{dBm} = absolute\ Spannung$
$lg = dekadischer\ Logarithmus$
$U_x = gesuchte\ Spannung$ in V
$U_0 = aboluter\ Spannungspegel\ \left(0.2236\,V\ an\ 50\,\Omega\ \left(Amateurfunk\right)\right)$



dB-Faktoren
für Verstärkung / Dämpfung

Spannungsfaktor	dB-Wert	Leistungsfaktor
1.122 / 0.891	**1**	1.259 / 0.794
1.259 / 0.794	**2**	1.585 / 0.630
1.413 / 0.707	**3**	1.995 / 0.501
1.585 / 0.630	**4**	2.512 / 0.398
1.778 / 0.562	**5**	3.162 / 0.316
1.995 / 0.501	**6**	3.981 / 0.251
2.239 / 0.446	**7**	5.012 / 0.199
2.512 / 0.398	**8**	6.310 / 0.158
2.818 / 0.354	**9**	7.943 / 0.125
3.162 / 0.316	**10**	10.000 / 0.100
3.548 / 0.281	**11**	12.589 / 0.0794
3.981 / 0.251	**12**	15.849 / 0.0630
4.467 / 0.223	**13**	19.953 / 0.0501
5.012 / 0.199	**14**	25.119 / 0.0398
5.623 / 0.177	**15**	31.623 / 0.0316
6.310 / 0.158	**16**	39.811 / 0.0251
7.079 / 0.141	**17**	50.119 / 0.0199
7.943 / 0.125	**18**	63.096 / 0.0158
8.913 / 0.112	**19**	79.433 / 0.0125
10.000 / 0.100	**20**	100.00 / 0.0100
11.220 / 0.0891	**21**	125.893 / 0.0079
12.589 / 0.0794	**22**	158.489 / 0.0063
14.125 / 0.0707	**23**	199.526 / 0.0050
15.849 / 0.0630	**24**	251.189 / 0.0039
17.783 / 0.0563	**25**	316.228 / 0.0031
19.953 / 0.0501	**26**	398.107 / 0.0025
22.387 / 0.0446	**27**	501.187 / 0.0018
25.119 / 0.0398	**28**	630.957 / 0.0015
28.184 / 0.0354	**29**	794.328 / 0.0012
31.623 / 0.0316	**30**	1000 / 0.0010
100 / 0.01	**40**	10'000 / 0.0001
316 / 0.0032	**50**	100'000 / 0.00001
1000 / 0.001	**60**	10^{6} / 10^{-6}
10'000 / 0.0001	**80**	10^{8} / 10^{-8}

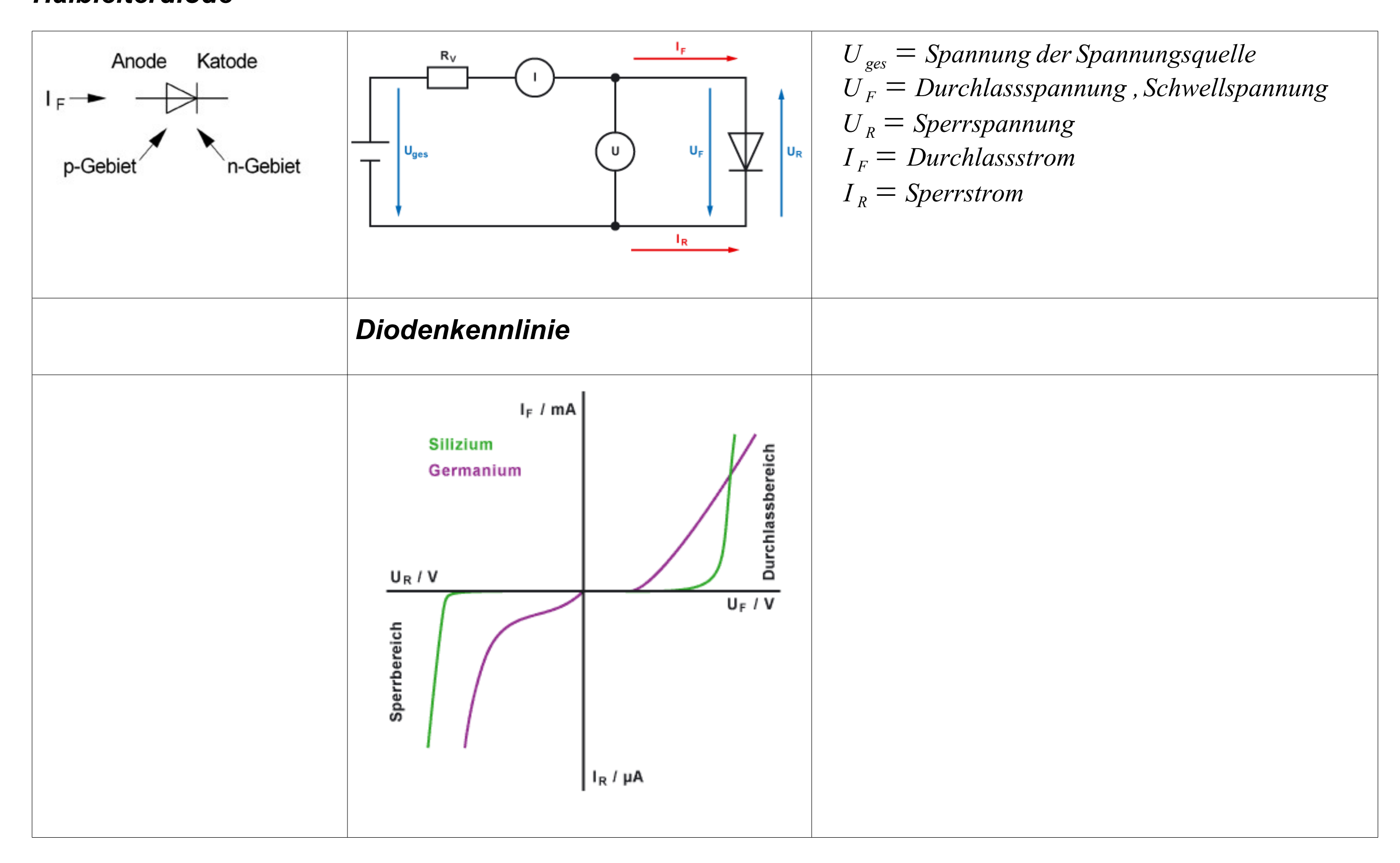
Halbleiter

Merke:
Typische Werte sind: 0,7 Volt für Silizium-Dioden
0,3 Volt für Germanium-Dioden

Bei Si- Dioden $U_0 - U_D = 10\ V\ - 0{,}7\ V = 9{,}3\ V$
Bei Germanium Dioden $U_0 - U_D = 10\ V\ - 0{,}3\ V = 9{,}7\ V$

Merke:
1. Im negativ dotierten Material sind freie negative Ladungsträger vorhanden.
2. Im positiv dotierten Material sind freie positive Ladungsträger oder einfach gesagt „Löcher“ vorhanden.

Halbleiterdiode



Merke:
1. Eine Diode ist in Sperrrichtung geschaltet, wenn die angelegte Spannung an der Anode negativer ist als an der Katode.
2. Eine Diode ist in Leitrichtung geschaltet, wenn die angelegte Spannung an der Anode positiver ist als an der Katode.

$$I_F = \frac{P_V}{U_F} \quad oder \quad P_V = U_F \cdot I_F$$

$I_F = Strom$ in $Durchlassrichtung$ in A
$P_V = Verlustleistung$ in W
$U_F = Spannung$ in $Durchlassrichtung$ in V

Durchlasswiderstand

$$R_F = \frac{U_F}{I_F}$$

$R_F = Durchlasswiderstand$
$U_F = Spannung$ in $Durchlassrichtung$
$I_F = Strom$ in $Durchlassrichtung$

Sperrwiderstand

$$R_R = \frac{U_R}{I_R}$$

$R_R = Sperrwiderstand$
$U_R = Spannung$ in $Sperrichtung$
$I_R = Strom$ in $Sperrichtung$

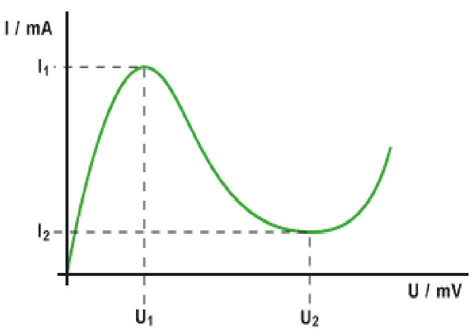
Dynamischer Durchlasswiderstand

$$r_F = \frac{\Delta U_F}{\Delta I_F}$$

$r_F =$ *dynamischer Durchlasswiderstand*
$\Delta U_F =$ *Änderung der Durchlassspannung*
$\Delta I_F =$ *Änderung des Durchlassstroms*

Dioden-Bauformen

Tunneldiode

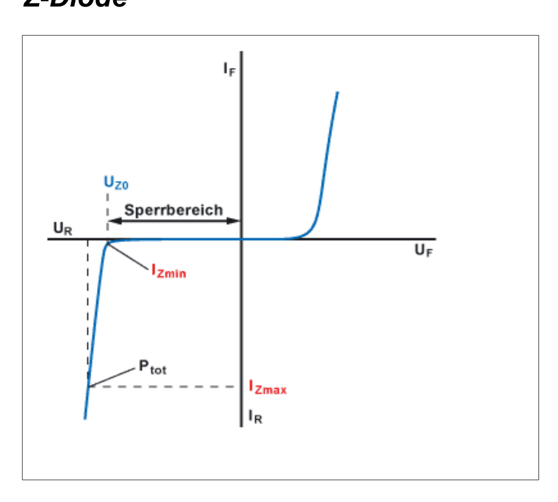


Im Gegensatz zu anderen Dioden hat die Tunneldiode keine Sperrwirkung. Wird die Spannung an einer Tunneldiode erhöht, steigt zunächst der Strom (bis U1 / I1). Bei weiterer Spannungserhöhung fällt der Stromwert wieder ab (ab U1 / I1). Die Tunneldiode wirkt in diesem Bereich wie ein negativer Widerstand. Bei steigender Spannung wird der Strom kleiner (zwischen U1 / I1 und U2 / I2). Wird die Spannung weiter erhöht, steigt auch der Strom weiter an (ab U2 / I2). Ist eine Tunneldiode in Sperrrichtung geschaltet, zeigt sie nahezu keine Sperrwirkung. Schon bei kleinen Spannungen fliessen hohe Ströme. Da die Sperrschicht sehr dünn ist tritt der Zenerdurchbruchzustand schon bei kleinen Spannungen auf.

PIN-Diode
Die pin-Diode ist ähnlich wie eine pn-Diode aufgebaut. Jedoch befindet sich die p-dotierte Schicht nicht direkt bei der n-dotierten Schicht, sondern es befindet sich eine schwach dotierte i-Schicht dazwischen. Das i steht hierbei für intrinsic. Sie enthält fast keine freien Ladungsträger und ist somit hochohmig.

Schottky-Diode
Die Schottky-Diode besteht aus einer Metall-Schicht und einer n-leitenden Silizium-Schicht. Die Elektronen der n-Schicht wandern zur Metallschicht. Weil Elektronen leichter aus n-Silizium in die Metallschicht gelangen als umgekehrt, entsteht in der Silizium-Schicht ein an Elektronen verarmter Bereich, die sogenannte Schottky-Sperrschicht. Durch die Ladungsträgerdiffusion entstehen eine Raumladungszone (Sperrschicht) und ein elektrisches Feld. Ab einem bestimmten Zustand ist das elektrische Feld so groß, dass keine Elektronen mehr wandern.

Z-Diode



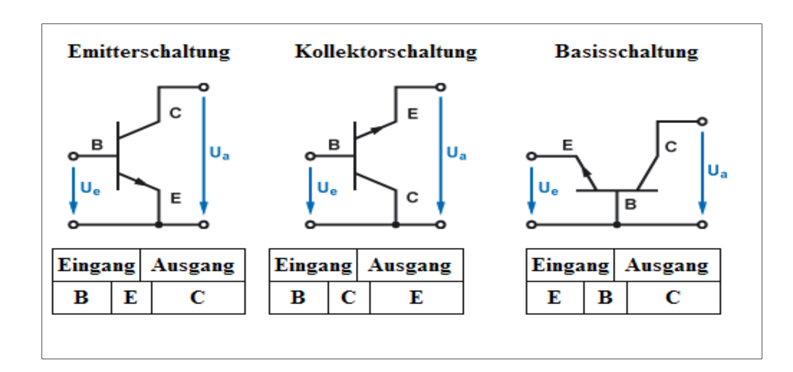
LED

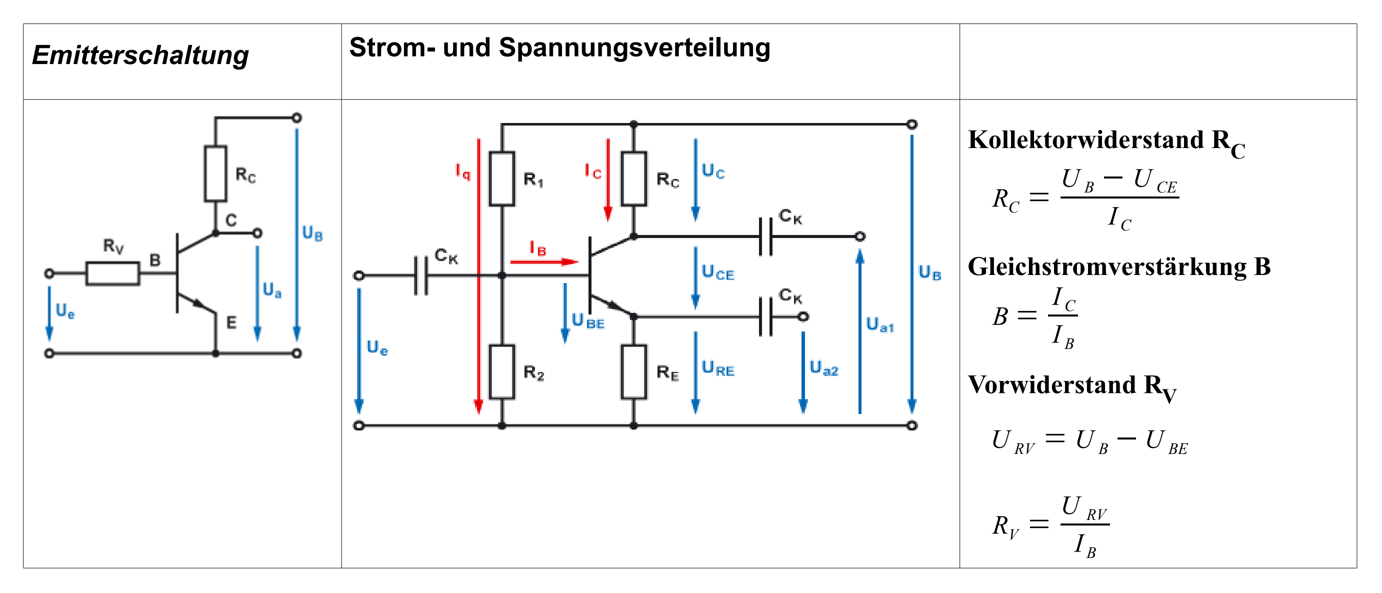
$$R_V = \frac{U_{ges} - U_F}{I_F}$$

$R_V = Vorwiderstand \text{ in } \Omega$
$I_F = Durchlassstrom \text{ in } A$
$U_F = Durchlassspannung \text{ in } V$
$U_{ges} = Gesamtspannung \text{ in } V$

Transistoren

Ein kleiner Strom auf der Basis-Emitter-Strecke kann einen grossen Strom auf der Kollektor-Emitter-Strecke steuern.





Kollektorwiderstand R_C

$$R_C = \frac{U_B - U_{CE}}{I_C}$$

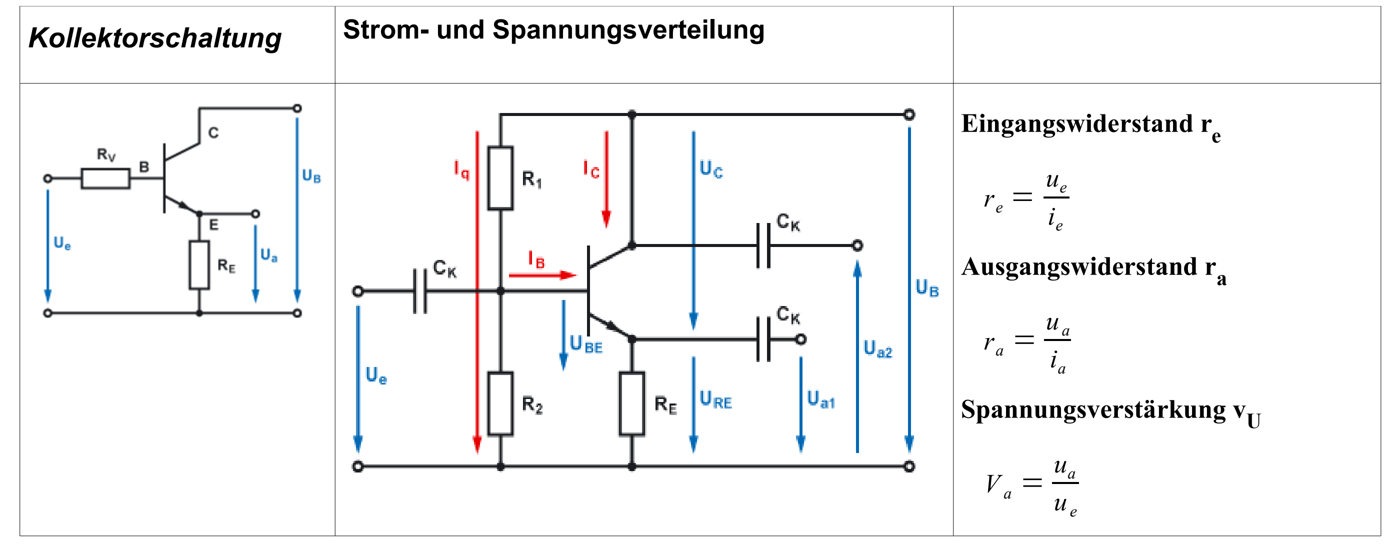
Gleichstromverstärkung B

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

Vorwiderstand R_V

$$U_{RV} = U_B - U_{BE}$$

$$R_V = \frac{U_{RV}}{I_B}$$



Eingangswiderstand r_e

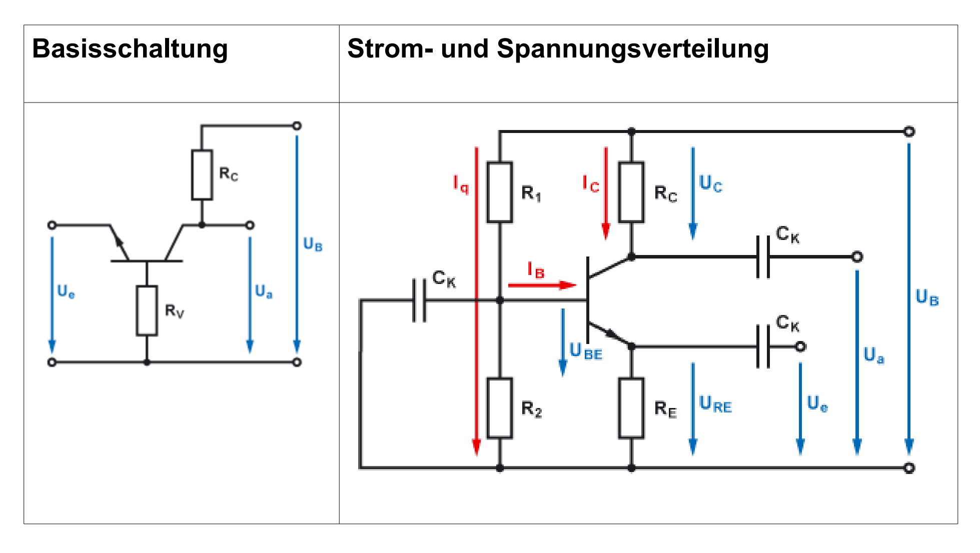
$$r_e = \frac{u_e}{i_e}$$

Ausgangswiderstand r_a

$$r_a = \frac{u_a}{i_a}$$

Spannungsverstärkung v_U

$$V_a = \frac{u_a}{u_e}$$



Schaltung	Emitterschaltung	Basisschaltung	Kollektorschaltung
Eingangs-widerstand r_e	100 Ω ... 10 kΩ	10 Ω ... 100 Ω	10 kΩ ... 100 kΩ
Ausgangs-widerstand r_a	1 kΩ ... 10 kΩ	10 kΩ ... 100 kΩ	10 Ω ... 100 Ω
Spannungs-verstärkung v_U	20 ... 100 fach	100 ... 1000 fach	<=1
Gleichstrom-verstärkung B	10 ... 50 fach	<=1	10 ... 4000 fach
Phasen-verschiebung	180°	0°	0°
Temperatur-abhängigkeit	groß	klein	klein
Leistungs-verstärkung v_P	sehr groß	mittel	klein
Grenzfrequenz f_g	niedrig	hoch	niedrig
Anwendungen	NF- und HF-Verstärker, Leistungsverstärker, Schalter	HF-Verstärker	Anpassungsstufen, Impedanzwandler

Merke:
Beim Basisspannungsteiler sind die Ströme durch den oberen und unteren Widerstand des Spannungsteilers nicht gleich. Sie sind um den Basisstrom I_B verschieden.

Kennlinie

$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B}$$

$\beta = Wechselstrom-Verstärkungsfaktor$
$\Delta I_C = Kollektorstromänderung$
$\Delta I_B = Basisstromänderung$

Verlustleistung

$$P_V = U_{CE} \cdot I_C$$

$P_V = Verlustleistung$
$U_{CE} = Kollektor-Basisschaltung$
$I_C = Kollektorstrom$

Stromverstärkung

$$B = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_E = I_B + I_C$$

$$I_E = I_B \cdot B + I_B$$

$$I_B = I_E - I_C \quad oder \quad I_E = I_B \cdot (B + 1)$$

$$I_B = \frac{I_E}{B + 1}$$

$$I_C = B \cdot I_B$$

$$I_B = \frac{I_C}{B} \quad oder \quad I_B = \frac{I_E}{B+1}$$

$$P_V = U_{CE} \cdot I_C$$

$$I_C = I_E - I_B$$

$B =$ *Stromverstärkung*
$I_C =$ *Kollektorstrom*
$I_B =$ *Basisstrom*
$I_E =$ *Emitterstrom* $P_V =$ *Verlustleistung*
$U_{CE} =$ *Kollektor − Basisspannung*

Feldeffekttransistor

Steilheit

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}}$$

$S =$ *Steilheit*
$\Delta I_D =$ *Drainstromänderung*
$\Delta U_{GS} =$ *Gate − Source − Spannungsänderung*

Darlington Schaltung

$$B_{tot} = B T_1 \cdot B T_2$$

$B_{tot} =$ *totale Stromverstärkung*
$B T_1 =$ *Stromverstärkung Transistor* T_1
$B T_2 =$ *Stromverstärkung Transistor* T_2

Operationsverstärker

Ausgangsspannung

$$U_a = v \cdot (U_P - U_N) \quad oder \quad U_a = v \cdot U_{PN}$$

$U_P =$ *Eingangsspannung am P − Eingang*
$U_N =$ *Eingangsspannung am N − Eingang*
$U_{PN} =$ *Differenzspannung* $U_P - U_N$
$U_a =$ *Ausgangsspannung*
$v =$ *Verstärkungsfaktor*

Invertierende Verstärker

$$v = \frac{R_2}{R_1}$$

$v =$ *Verstärkungsfaktor*
$R_1 =$ *Widerstand* R_1
$R_2 =$ *Widerstand* R_2

Nichtinvertierende Verstärker

$$v = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$v =$ *Verstärkungsfaktor*
$R_1 =$ *Widerstand* R_1
$R_2 =$ *Widerstand* R_2

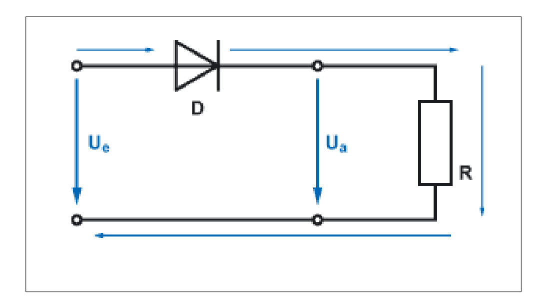
Grundschaltungen

Gleichrichterschaltung

$$U_{CL} = U_{eff} \cdot \sqrt{2}$$

$U_{CL} = \text{Spannung am Kondensator}$
$U_{eff} = \text{Effektiv} - \text{Wechselspannung}$

Einweg



Bei der Einweggleichrichtung wird immer nur eine Halbwelle des Sinussignals ausgenutzt

$$U_a = 1.2 \cdot U_e \qquad I_a = 0.5 \cdot I_e$$

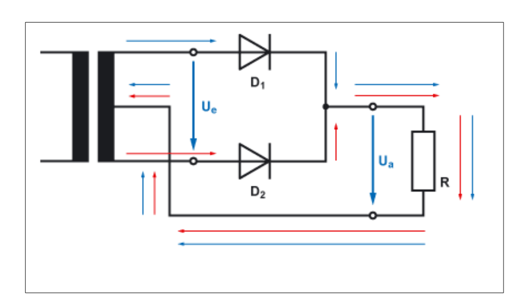
$$U_a = \sqrt{2} \cdot U_e \qquad U_{RM} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_e$$

$$U_{Breff} = \frac{4.8 \cdot 10^{-3} \cdot Ia}{C_L} \qquad U_{Brss} = \frac{14 \cdot 10^{-3} \cdot Ia}{C_L}$$

$$f_{Br} = f_{Netz}$$

$U_a = \text{Ausgangsgleichspannung in } V$
$U_e = \text{Eingangswechselspannung in } V$
$I_a = \text{Ausgangsgleichstrom in } A$
$I_e = \text{Eingangsgleichstom in } A$
$U_{RM} = \text{max. Diodenspannung in } V$
$C_L = \text{Ladekondensator in } F$
$U_{Breff} = \text{Effektivwert Brummspannung in } V$
$U_{Brss} = \text{Spitzen} - \text{Spitzenwert Brummspannung in } V$
$f_{netz} = \text{Netzfrequenz in } Hz$
$f_{Br} = \text{Frequenz Brummspannung in } Hz$

Mittelpunkt



$$U_a = 1.3 \cdot U_e \qquad I_a = 0.9 \cdot I_e$$

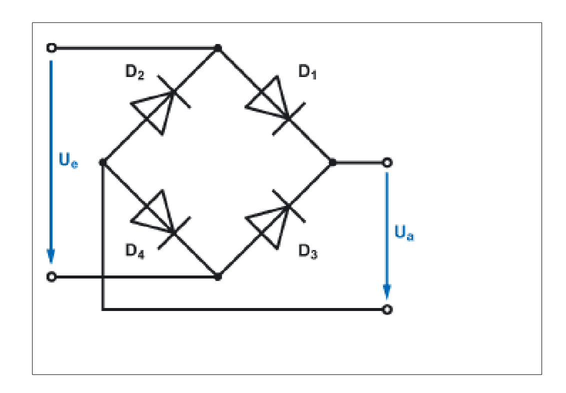
$$U_a = \sqrt{2} \cdot U_e \qquad U_{RM} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_e$$

$$U_{Breff} = \frac{1.8 \cdot 10^{-3} \cdot Ia}{C_L} \qquad U_{Brss} = \frac{7 \cdot 10^{-3} \cdot Ia}{C_L}$$

$$f_{Br} = 2 \cdot f_{Netz}$$

$U_a = \text{Ausgangsgleichspannung in } V$
$U_e = \text{Eingangswechselspannung in } V$
$I_a = \text{Ausgangsgleichstrom in } A$
$I_e = \text{Eingangsgleichstom in } A$
$U_{RM} = \text{max. Diodenspannung in } V$
$C_L = \text{Ladekondensator in } F$
$U_{Breff} = \text{Effektivwert Brummspannung in } V$
$U_{Brss} = \text{Spitzen} - \text{Spitzenwert Brummspannung in } V$
$f_{netz} = \text{Netzfrequenz in } Hz$
$f_{Br} = \text{Frequenz Brummspannung in } Hz$

Brücke



$U_a = 1.3 \cdot U_e$ $\quad I_a = 0.6 \cdot I_e$

$U_a = \sqrt{2} \cdot U_e$ $\quad U_{RM} = 2 \cdot \sqrt{2} \cdot U_e$

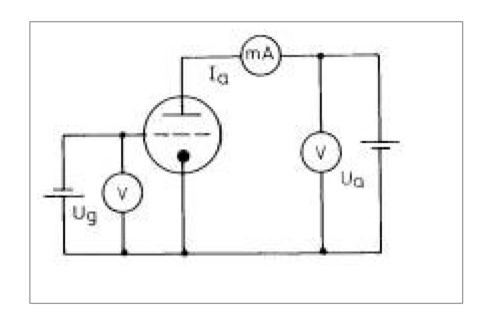
$U_{Breff} = \dfrac{1.8 \cdot 10^{-3} \cdot Ia}{C_L}$ $\quad U_{Brss} = \dfrac{7 \cdot 10^{-3} \cdot Ia}{C_L}$

$f_{Br} = 2 \cdot f_{Netz}$

$U_a = Ausgangsgleichspannung$ in V
$U_e = Eingangswechselspannung$ in V
$I_a = Ausgangsgleichstrom$ in A
$I_e = Eingangsgleichstom$ in A
$U_{RM} = max. Diodenspannung$ in V
$C_L = Ladekondensator$ in F
$U_{Breff} = Effektivwert\ Brummspannung$ in V
$U_{Brss} = Spitzen-Spitzenwert\ Brummspannung$ in V
$f_{netz} = Netzfrequenz$ in Hz
$f_{Br} = Frequenz\ Brummspannung$ in Hz

Röhren

Grundschaltung



Merke:
Die Gitterspannung steuert den Anodenstrom. Da normalerweise kein Gitterstrom fliesst, wird eine Elektronenröhre leistungslos gesteuert.
Wenn die negative Gittervorspannung noch negativer gemacht wird, sinkt der Anodenstrom.
Die Anode ist die Elektrode einer Elektronenröhre.
Die Kathode einer Elektronenröhre emittiert Elektronen weil sie geheizt wird.
Wenn man den Anodenstrom einer Triode reduzieren möchte, macht man das Gitter negativer.

Steilheit

$S = \dfrac{\Delta_{Ia}}{\Delta_{Ug}}$

$S = Steilheit$ in mA/V ,bei U_a konstant
$I_a = Anodenstromänderung$ in A
$U_g = Gittervorspannungsänderung$ in V

- Sie ist eine kennzeichnende Grösse für die Verstärkereigenschaften von Röhren. Sie gibt an, welchen Steuereinfluss die Gitterspannung auf den Anodenstrom hat.

Innenwiderstand

$$R_i = \frac{\Delta_{Ua}}{\Delta_{Ia}}$$

$R_i =$ *Innenwiderstand* in Ω, *bei* U_g *konstant*
$\Delta_{Ua} =$ *Anodenspannungsänderung* in V
$\Delta_{Ia} =$ *Anodenstromänderung* in A

Durchgriff

$$D = \frac{\Delta_{Ug}}{\Delta_{Ua}}$$

$D =$ *Durchgriff als reine Zahl, bei* I_a *konstant.*
Ergibt multipliziert mit 100 *einen % − Wert.*
$\Delta_{Ua} =$ *Anodenspannungsänderung* in V
$\Delta_{Ug} =$ *Gittervorspannungsänderung* in V

Verstärkung

$$\mu = \frac{1}{D} \quad oder \quad \mu = R_i \cdot S$$

$\mu =$ *Verstärkungsfaktor einer Röhre (reine Zahl)*
$D =$ *Durchgriff als reine Zahl*
$R_i =$ *Innenwiderstand* in Ω
$S =$ *Steilheit* in V/A

Verlusthyperbel

$$P_V = U_a \cdot I_a$$

$P_V =$ *Verlustleistung* in W
$U_a =$ *Anodenspannung* in V
$I_a =$ *Anodenstrom* in A

Merke:
Eine kleine Spannungsänderung am Gitter einer Röhre bewirkt eine mehr oder weniger grosse Änderung des Anodenstromes I_a. Je nach Steilheit der Röhre ist diese Änderung grösser oder kleiner. Eine Änderung des Anodenstromes ändert den Spannungsabfall am Anodenwiderstand R_a. Dadurch ändert sich die Anodenspannung U_a im Takt der Eingangswechselspannung am Steuergitter.

Schirmgitterwiderstand

$$R_{g2} = \frac{U_{Betr} - U_{g2}}{I_{g2}}$$

$$R_{g2} = \frac{U_{g2}}{I_{g2}}$$

$R_{g2} =$ *Schirmgitterwiderstand* in Ω
$U_{Betr} =$ *Betriebsspannung* in V
$U_{g2} =$ *Schirmgitterspannung* in V
$I_{g2} =$ *Schirmgitterstrom* in A

Verlustleistung

$$P_V = U_a \cdot I_a$$

$P_V =$ *Verlustleistung* in W
$U_a =$ *Anodenspannung* in V
$I_a =$ *Anodenstrom* in A

Barkhausensche Röhrenformel

$$S \cdot D \cdot R_i = 1$$

$$D = \frac{1}{S \cdot R_i}$$

$D =$ *Durchgriff als reine Zahl*
$R_i =$ *Innenwiderstand* in Ω
$S =$ *Steilheit* in V/A

Wirkungsgrad Senderöhre

$$Tx\,\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_V} \cdot 100 \quad \text{in } \%$$

Kathodenwiderstand (Triode)

$$R_K = \frac{U_G}{I_A}$$ $R_K = Kathodenwiderstand$
$U_G = Gittervorspannung$
$I_A = Anodenstrom$

Weitere

$$I_k = I_a + I_g^2$$

$$R_k = \frac{U_k}{I_a + I_g^2}$$

$$R_g^2 = \frac{U_b - U_g^2}{I_g^2}$$

- Eine Triode ist eine Verstärkerröhre mit einem Steuergitter.

Wellenausbreitung
$C_0 = 3 \cdot 10^8 \, m/s$ $C_0 = Ausbreitungsgeschwindigkeit$

Feldstärke

Merke:
1. Die Feldstärke sinkt bei doppelter Entfernung auf die Hälfte.
2. Die Empfangsleistung nimmt mit dem Quadrat der Distanz vom Sender ab.

$$\frac{P_A}{(d_A)^2} = \frac{P_B}{(d_B)^2}$$

$P_A = Leistung\ des\ Senders\ A$
$P_B = Leistung\ des\ Senders\ B$
$d_A = Distanz\ vom\ Sender\ A\ zum\ Empfänger$
$d_B = Distanz\ vom\ Sender\ B\ zum\ Empfänger$

$$P_B = \frac{P_A \cdot (d_B)^2}{(d_A)^2}$$

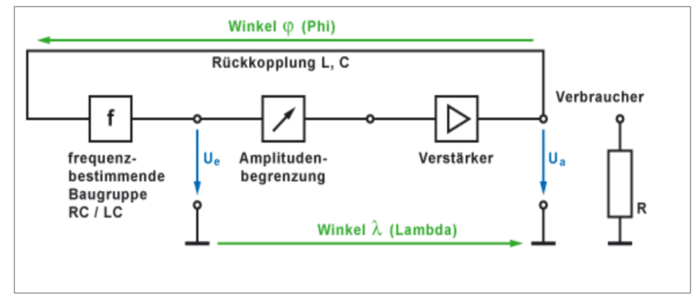
$$U_B = \frac{d_a \cdot U_a}{d_B}$$

HF-Leistung

$$P_{input} = U_a \cdot I_a$$

$$PEP = \frac{(U_{eff})^2}{R}$$

Oszillatoren



Winkel Lambda λ: *Phasenverschiebung des Verstärkers*
Winkel Phi φ: *Phasenverschiebung der restlichen Schaltung*

Voraussetzung zur Schwingungserzeugung

Ringverstärkung

$$v_u = \frac{\Delta U_a}{\Delta U_e}$$

Spannungsverstärkung des Verstärkers v_u.

$$k = \frac{\Delta U_e}{\Delta U_a}$$

Rückkoppelungsfaktor k auf den Verstärker bezogen.

$$v_u \bullet k = 1$$

Der Verstärker muss den Energieverlust der Rückkopplung ausgleichen.

Phasenbedingung
Für eine Mitkopplung muss die Eingangsspannung des Verstärkers in Phase zur eingestellten Spannung stehen.

$$\sphericalangle \lambda + \sphericalangle \varphi = 360° = 0°$$

Sendetechnik

Modulationstheorie

$$u = \hat{u} \cdot \sin(\omega_t + \varphi)$$

$u =$ *Augenblickswert der Spannung*
$\hat{u} =$ *Scheitelwert der Spannung*
$\sin =$ *Sinusfunktion*
$\omega =$ *Kreisfrequenz* $(2\pi f)$
$t =$ *Zeit* in s
$\varphi =$ *Phasenlage der Schwingung*

AM

Bandbreite

$$B = 2 \cdot F_{NF\,max}$$

Modulationssignal

$$U_M = U_M \cdot \sin\omega_M \cdot t$$

$U_M =$ *Modulationsspannung*
$\sin =$ *Sinusfunktion*
$\omega_M =$ *Kreisfrequenz* $(2\pi f)$ *der Modulationsspannung*
$t =$ *Zeit* in s

Trägersignal

$$U_T = U_T \cdot \sin\omega_M \cdot t$$

$U_T =$ *Trägerspannung*
$\sin =$ *Sinusfunktion*
$\omega_M =$ *Kreisfrequenz* $(2\pi f)$ *der Trägerspannung*
$t =$ *Zeit* in s

Amplitudenmodulierter Träger

$$U_{TM} = (U_T + U_M \cdot \sin\omega_M \cdot t) \cdot \sin\omega_T \cdot t$$

$U_{TM} =$ *Amplitudenmodulierte Spannung*
$U_T =$ *Trägerspannung*
$U_M =$ *Modulationsspannung*
$\sin =$ *Sinusfunktion*
$\omega_M =$ *Kreisfrequenz der Modulationsspannung*
$\omega_M =$ *Kreisfrequenz der Trägerspannung*
$t =$ *Zeit* in s

Multiplikative Mischung

$$m = \frac{U_M}{U_T} = \frac{U_{NF}}{U_{HF}} \cdot (100\,\%)$$

m = Modulationsgrad (eine Zahl zwischen 0 und 1)
U_M = Modulationsspannung
U_T = Trägerspannung
U_{HF} = HF-Spannung (Träger)
U_{NF} = NF-Spannung (Modulation)

Modulationsgrad

$$m = \frac{a - B}{a + b}(\cdot\ 100\%)$$

m = Modulationsgrad
$a = 0,5 \cdot U_{SS}$ der maximalen Amplitude
$b = 0,5 \cdot U_{SS}$ der minimalen Amplitude

$$m_{[\%]} = 100 \cdot \frac{\Delta U}{U_0}$$

ΔU = Änderung HF-Amplitude bei Modulation
U_0 = Amplitude der unmodulierten HF-Schwingung

AM-Leistungsbetrachtung

$$U_{SB} = U_{LSB} = U_{USB} = \frac{m}{2} \cdot U_T$$

U_{SB} = Spannung eines Seitenbandes
U_{LSB} = Spannung des unteren Seitenbandes
U_{USB} = Spannung des oberen Seitenbandes
m = Modulationsgrad
U_T = Trägerspannung

Gesamtleistung AM-Sender

$$P_{AM} = P_T + P_{NF} = P_T + P_{LSB} + P_{USB} = P_T + 2 \cdot P_{SB}$$

P_{AM} = AM-Sendeleitung
P_T = Trägerleistung
P_{NF} = NF-Modulationsleistung
P_{LSB} = Leistung des unteren Seitenbandes
P_{USB} = Leistung des oberen Seitenbandes
P_{SB} = Leistung eines Seitenbandes

$$P_{AM} = P_T\left(1 + \frac{1}{2} m^2\right)$$

P_{AM} = AM-Sendeleistung
P_T = Trägerleistung
m = Modulationsgrad

AM-Leistungsberechnung

$$P_{AM} = P_T\left(1 + \frac{1}{2} m^2\right) \rightarrow P_T = \frac{P_{AM}}{\left(1 + \frac{1}{2} m^2\right)}$$

$$P_{AM} = P_T + 2 \cdot P_{SB} \rightarrow P_{SB} = \frac{P_{AM} - P_T}{2}$$

FM

1. Je grösser die niederfrequente Lautstärke (oder der Dynamikumfang) ist, desto grösser ist die Frequenzänderung oder der Frequenzhub (des HF-Signals).
2. Die Frequenz des aufmodulierten NF-Signals wird durch die Häufigkeit der Frequenzänderung oder des Frequenzhubs pro Sekunde dargestellt.
3. Die Senderamplituden des frequenzmodulierten HF-Signals bleiben immer konstant.

FM-Modulator

$$B_{FM} = 2 \cdot (\Delta f + f_{NF}) = 2 \cdot (M + 1) \cdot f_{NF}$$

B_{FM} = Bandbreite eines FM-Signals
Δf = Frequenzhub
f_{NF} = NF-Modulationsindex
M = Modulationsindex

Modulationsindex

$$M = \frac{\Delta f}{f_{NF}} = \frac{Hub}{f_{NF}}$$

M = Modulationsindex
Δf = Frequenzhub
f_{NF} = höchste NF − Modulationsfrequenz

- Bei Rundfunksendern ist der Hub fünfmal höher also die höchste zu übertragende Tonfrequenz (=15 kHz). Der Hub wird also 75 kHz. Die Frequenz schwankt um +/- 75 kHz bei der grössten Lautstärke. Modulationsindex beträgt 5.
- Im Amateurfunk wird als höchster Frequenzhub 3 kHz. verwendet. Die höchste Niederfrequenz ist ebenfalls 3 kHz, der Modulationsinex ist also 1.

Oszillator

$$k = \frac{1}{v} \quad oder \quad k \cdot v = 1$$

k = Kopplungsfaktor
v = Verstärkung der Stufe

Merke:
1. Der Hartley-Oszillator besitzt eine geteilte Spule (H wie Hartley, H = Induktivität)
2. Der Colpitts-Oszillator besitzt einen geteilten Kondensator (C wie Capazität)

Seitenbandfilter

Merke:
1. Auf den unteren Frequenzbändern (1,8 MHz, 3,5 MHz und 7 MHz, das heisst 160 m-Band, im 80 m-Band und im 40 m-Band) in LSB gesendet wird.

2. In den oberen Frequenzbändern (10...30 MHz, das heisst im 20 m-Band, 20 m-Band, 15 m-Band und 10 m-Band; sowie 144 MHz, das heisst 2 m-Band und 430 MHz, das heisst 70 cm-Band) wird in USB gesendet.

HF Inputleistung

$$P_{input} = U_a \cdot I_a$$

P_{input} = Inputleistung in W
U_a = Anodenspannung
I_a = Anodenstrom

PEP (Peak Envelope Power)

Merke:
PEP (Peak Envelope Power) ist die durchschnittliche Leistung, die ein Sender während einer Periode der HF-Schwingung bei der höchsten Spitze der Modulationshüllkurve maximal abgeben kann.

$$PEP = \frac{(U_{eff})^2}{R} = \left(\frac{U_{SS}}{2 \cdot \sqrt{2}}\right)^2 \cdot \frac{1}{R}$$

PEP = Peak Envelope Power
U_{eff} = Effektivwert der Ausgangs − Spannung
R = Ausgangsimpedanz
U_{SS} = Spitzen − Spitzen − Wert der Ausgangs − Spannung

$$PEP = P_C (1 + m)^2$$

PEP = Peak Envelope Power
P_C = Carrier − Power (Trägerleistung)
m = Modulationsgrad bei AM

Empfangstechnik

Spiegelfrequenz

$f_S = f_O + f_{ZF}$

$f_S = f_O - f_{ZF}$

$mit\ der\ Eingangsfrequenz$

$f_S = f_E + 2 \cdot f_{ZF} \quad für\ f_O > f_E$

$f_S = f_E - 2 \cdot f_{ZF} \quad für\ f_O < f_E$

$f_E = \frac{c}{\lambda}$

$f_S = Spiegelfrequenz$
$f_E = Eingangsfrequenz$
$f_O = Oszillatorfrequenz$
$f_{ZF} = Zwischenfrequenz$

Rauschen

$P_R = 4 \cdot K \cdot t_0 \cdot B$

$P_R = Rauschleistung\ z.B. Widerstand$
$K = Bolzmann'sche\ Konstante\ (=1,38 \cdot 10^{-23})$
$t_0 = Temperatur\ \text{in}\ Grad\ Kelvin\ (0^o C = 273^o\ Kelvin)$
$B = Bandbreite\ \text{in}\ Hz$

$U_R = 1,28 \cdot 10^{-10} \cdot \sqrt{R \cdot B}$

$U_R = Rauschspannung\ z.B. Widerstand\ \text{in}\ V$
$R = Widerstand\ \text{in}\ \Omega,\ \text{in}\ dem\ das\ Rauschen\ auftritt$
$B = Arbeitsbandbreite\ (z.B.\ 3\ kHz)$

Anzahl SSB Stationen

$AZ = \frac{f_{Bereich}}{NF_{Bandbreite}}$

$AZ = Anzahl\ Stationen$
$f_{Bereich} = Bei\ 2M\ Band\ z.B.\ 144-146\ MHZ = 2\ MHz$
$NF_{Bandbreite} = z.B.\ 2,5\ kHz$

$Wichtig: Wenn\ ein\ Resultat\ ungerade\ ist\ dann\ abrunden!$

Antennen

Merke:
Zur maximalen Leistungsübertragung zwischen Sender und Antenne muss der Innenwiderstand des Senders mit dem Wellenwiderstand der Leitung und dem Einganswiderstand der Antenne übereinstimmen, um Leistungsanpassung zu erreichen. Im Amateurfunk wird mit 50 Ohm gearbeitet.

Wellenwiderstand

$Z_L = Z_\omega = \sqrt{\frac{L}{C}}$

$Z_L = (Z_\omega)\ Wellenwiderstand\ oder\ Wellenimpedanz\ \text{in}\ \Omega$
$L = Kabel - Induktuvität\ \text{in}\ H$
$C = Kabel - Kapazität\ \text{in}\ F$

Wellenimpedanz Trafoleitung

$Z_\omega = \sqrt{R_1 \cdot R_2}$

$Z_\omega = resultierender\ Wellenwiderstand$
$R_1 = Wellenwiderstand\ des\ ersten\ Kabels\ (primär)$
$R_2 = Wellenwiderstand\ des\ zweiten\ Kabels\ (sekundär)$

Verkürzungsfaktor

- Weil in einem Koax-Kabel das Dialektrikum nicht Luft sonder Polyäthylen ist, bewegen sich die Wellen langsamer fort als mit Lichtgeschwindigkeit (Luft). Es ergibt sich ein Verkürzungsfaktor v. Er beträgt bei den meisten Koax-Kabel ungefähr 0,7 (0,677). Somit muss ein Koax-Kabel für eine Anpass- oder Umwegleitung eine genaue elektrische Länge haben, elektrisch kürzer sein.

$l_m = l_e \cdot v$ $\quad l_m = \text{Länge Koax} - \text{Kabel mechanisch}$
$l_e = \text{Länge Koax} - \text{Kabel elektrisch}$
$v = \text{Verkürzungsfaktor}$

Viertelwellenlänge (λ/4) für 2 m Wellenlänge 0,5 m.

$$l_m = l_e \cdot v = 50\,cm \cdot 0{,}677 = 33.35\,cm$$

$$\lambda_{Kabel} = lamda_0 \cdot v$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_r}}$$

Material	VF	ε_r
PE (Polyethylen)	0,66	2,25
Teflon	0,7	2,0
PE-Schaum	0,85 (ca.)	1,38
PE-Wendel	0,89 - 0,99	1,25 - 1,02
Luft/Vakuum	1,0	1,0

Stehwellenverhältnis SWR

$$SWR = \frac{U_{max}}{U_{min}}$$

$SWR = \text{Stehwellenverhältnis (Standing Wave Ratio)}$
$U_{max} = \text{Maximaler Spannungswert auf der Leitung}$
$U_{min} = \text{Minimaler Spannungswert auf der Leitung}$

$$SWR = \frac{U_V + U_R}{U_V - U_R} = \frac{\sqrt{P_V} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_V} - \sqrt{P_R}}$$

$SWR = \text{Stehwellenverhältnis (Standing Wave Ratio)}$
$U_V = \text{Hinlaufende Spannung (Spannung vorwärts)}$
$U_R = \text{Rücklaufende Spannung (Spannung rückwärts)}$
$P_V = \text{Hinlaufende Leistung (Leistung vorwärts)}$
$P_R = \text{Rücklaufende Leistung (Leistung rückwärts)}$

- Hinlaufende Spannung von 20 V und eine reflektierende Spannung von 2 V. Das SWR beträgt demnach:

$$SWR = \frac{U_V + U_R}{U_V - U_R} = \frac{20+2}{20-2} = \frac{22}{18} = 1{,}2 = 1{:}1{,}2$$

- Hinlaufende Leistung von 100 W, die reflektierte Leistung ¼ davon, also 25 W. Das SWR beträgt demnach:

$$SWR = \frac{\sqrt{P_V} + \sqrt{P_R}}{\sqrt{P_V} - \sqrt{P_R}} = \frac{\sqrt{100} + \sqrt{25}}{\sqrt{100} - \sqrt{25}} = \frac{15}{5} = 3 = 1{:}3$$

SWR	**Leistungsverlust in %**	**SWR**	**Leistungsverlust in %**
1:1	0	1:3	25
1:1,5	4	1:5	44
1:2	11	1:10	67

Merke:

1. Für Amateurzwecke kann man davon ausgehen, dass alle Werte unter 1:2 (reflektierte Leistung = 11%) noch 'gut bis brauchbar sind'.
2. Bei einer Ausgangsleistung des Senders von 100 Watt heisst das eine abgestrahlte Leistung (ohne Antennengewinn) von 89 Watt.

Reflektionsfaktor

$$r_{(U,I)} = \frac{SWR^{-1}}{SWR^{+1}}$$

$r_{(U,I)} = \text{Refelktionsfaktor bei Spannungs} - \text{und Stromwerten}$
$SWR = \text{Stehwellenverhältnis (Standing Wave Ratio)}$

Reflektionsfaktor in %

$$r_{(U,I)} = \frac{SWR^{-1}}{SWR^{+1}} \cdot 100\ \%$$

$$r_{(P)} = \left(\frac{SWR-1}{SWR+1}\right)^2 \cdot 100\ \%$$

$r_{(P)} =$ *Refelktionsfaktor bei Leistungswerten*
$SWR =$ *Stehwellenverhältnis (Standing Wave Ratio)*

Hinlaufende Leistung 100 Watt, das SWR 1:2. Die reflektierte Leistung beträgt dann:

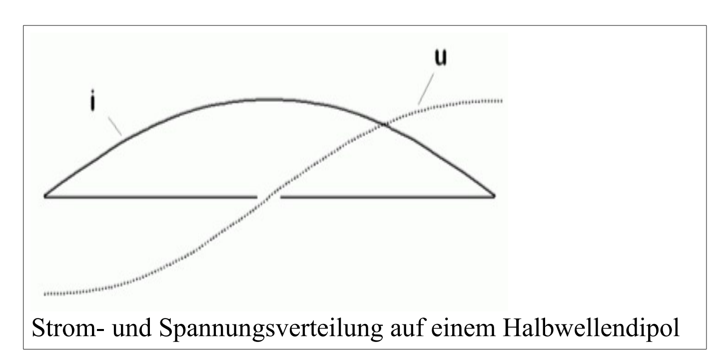
$$r_{(P)} = \left(\frac{SWR-1}{SWR+1}\right)^2 \cdot 100\ \% = \left(\frac{2-1}{2+1}\right)^2 = \left(\frac{1}{3}\right)^2 = 0.11 \cdot 100\ \% = 11\ \% \rightarrow 11\,Watt$$

Merke: Eine gute Antenne ist der beste HF-Vertärker.

Halbwellendipol

$$l_m = \frac{c \cdot 0.97}{2 \cdot f}$$

$l_m =$ *Mechanische Länge eines Halbwellendipols* in m
$c =$ *Ausbreitungsgeschwindigkeit* $(3 \cdot 10^8\, m/s$ *oder* $300'000\, km/s)$
$f =$ *Frequenz*



Strom- und Spannungsverteilung auf einem Halbwellendipol

- Eine Dipolantenne, deren Länge der Hälfte der zu sendenden oder empfangenden Wellenlänge entspricht. Die beiden Enden des Halbwellendipols weisen somit immer eine um 180° verschobene Phasenlage auf. Sein Strahlungswiderstand beträgt theoretisch rund 73 Ohm.

Gruppenantennen

- Einzelne Yagi-Antennen können zu Gruppen zusammengefasst werden. Der zusätzliche Gewinn bei zwei gleichen Antennen beträgt 3 dB (Faktor 2). Bei einer Yagi Antenne mit einem Gewinn von 8 dB beträgt der theoretische Gesamtgewinn also 8 dB + 3 dB = 11 dB. Bei vier Antennen des gleichen Typs steigt der Gewinn nochmals um 3 dB an. Also 8 dB + 3 dB + 3dB = 14 dB.

Gewinn bei 2 gleichen Yagi Antennen

$$G_{tot.\ bei\ 2\ Antennen} = G_{einzel} + 3\,dB$$

$G_{tot.\ bei\ 2\ Antennen} =$ *Gesamt−Gewinn* in *dB bei zwei Antennen gleichen Types*
$G_{einzel} =$ *Einzel−Gewinn einer Yagi−Antenne*

Gewinn bei 2 gleichen Yagi Antennen

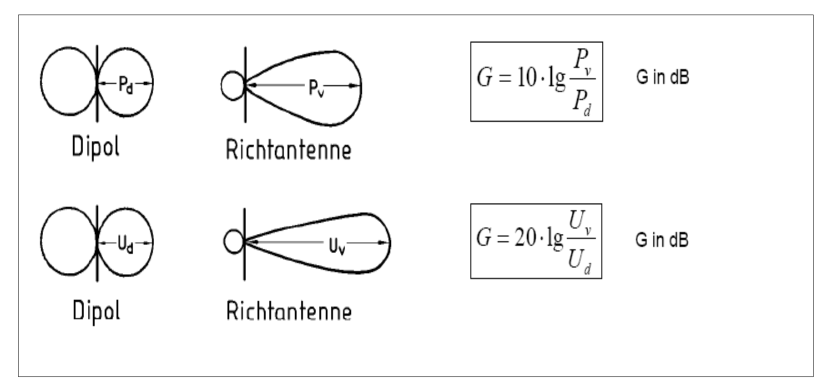
$$G_{tot.\ bei\ 4\ Antennen} = G_{einzel} + 3\,dB + 3\,dB = G_{einzel} + 6\,dB$$

$$B = f_o - f_u \qquad B = \frac{f_{res}}{Q}$$

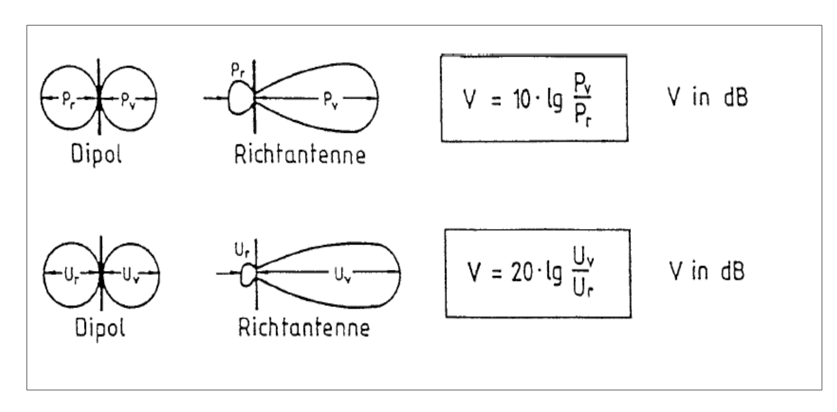
$$bei\ -3\text{dB}, 0{,}707, 70{,}7\ \%, \frac{1}{\sqrt{2}}$$

$$F = \frac{B_{60\text{dB}}}{B_{6\text{dB}}} \qquad T_x\eta = \frac{P_{out}}{P_{out} + P_{verl.}} \cdot 100 = \% \qquad P_{\text{in}} = P_{out} + P_{verl.}$$

Antennengewinn



Vor/Rück-Verhältnis



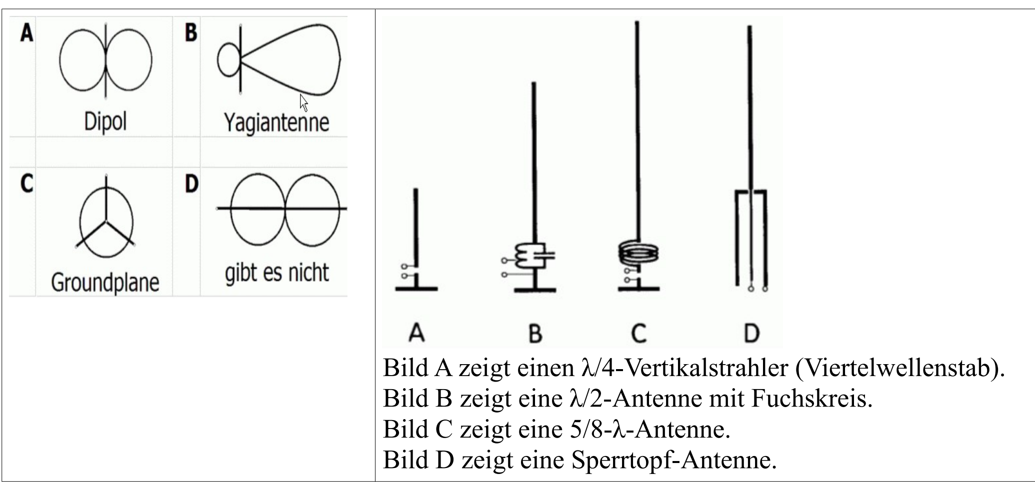


Bild A zeigt einen λ/4-Vertikalstrahler (Viertelwellenstab).
Bild B zeigt eine λ/2-Antenne mit Fuchskreis.
Bild C zeigt eine 5/8-λ-Antenne.
Bild D zeigt eine Sperrtopf-Antenne.

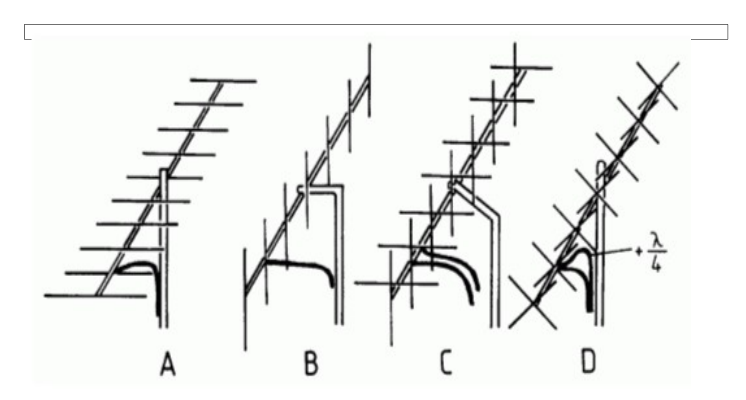


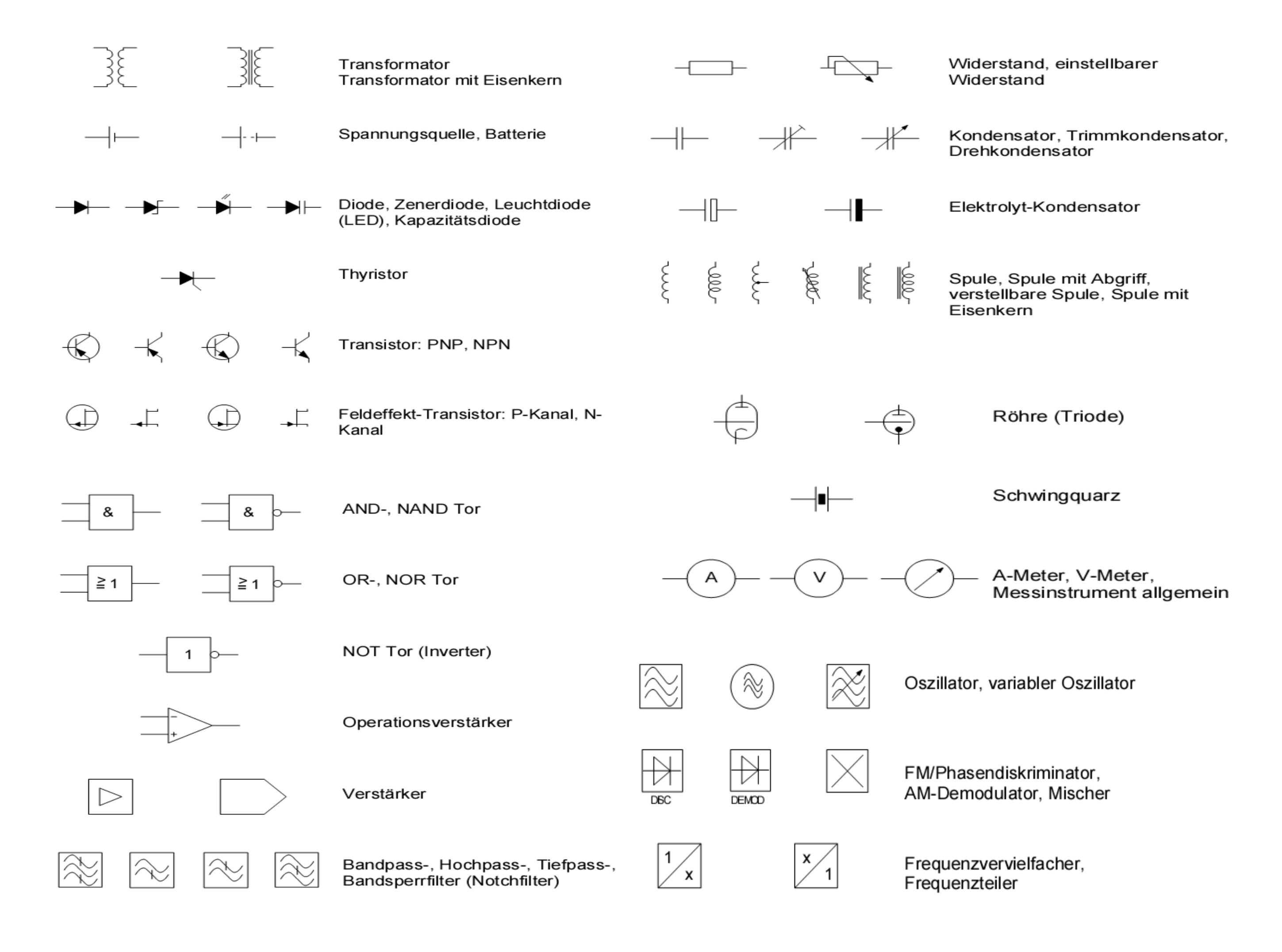
Bild A zeigt eine horizontal polarisierte Yagi-Antenne.
Bild B zeigt eine vertikal polarisierte Yagi-Antenne.
Bild C zeigt eine Kreuz-Yagi-Antenne.
Bild D zeigt eine zirkular polarisierte X-Yagi-Antenne.

ERP und EIRP

$$P_{EIRP} = (P_{Sender} - P_{Verluste}) \cdot Gewinnfaktor_{EIRP}$$

$$P_{ERP} = (P_{Sender} - P_{Verluste}) \cdot Gewinnfaktor_{ERP}$$

Schaltzeichen



- Ein Rechtecksignal setzt sich aus einer Sinus-Grundwelle und theoretisch unendlich vielen Oberwellen zusammen.
- Oberwelle bedeutet: Ganzzahlige Vielfach der Grundfrequenz.
- Klirrfaktor NF-Signal: Gibt die Grösse der Verzerrung des Signals an.
- HF-Übertragung mittels AM wird die NF-Tonhöhe durch die Frequenz der Hüllkurve bestimmt.
- Bandbreite RTTY (50 Bd, F1B): ~ 330 Hz mit 170 Hz Schift
  ~ 1010 Hz mit 850 Hz Schift
- Bandbreite CW (A1A): ~ 42 Hz bei 10 WPM
  ~ 125 Hz bei 30 WPM
- Modulationsart RTTY: FSK (frequency shift keying) und AFSK (audio frequency shift keying)
- Damit eine maximale Leitungsübertragung (Leistungsanpassung) erfolgen kann, muss die Ausgangsimpedanz eines Senders an die Eingangsimpedanz der Antenne angepasst werden.
- Skin Effekt: Das Bestreben eines HF-Stromes, an der Oberfläche eines Leiters zu fliessen.
- Damit eine maximale Leistungsübertragung erreicht wird, muss die Impedanz einer Antenne an die Ausgangsimpedanz eines Senders angepasst werden.
- Scheinwiderstand = Impedanz
- Zwischen 145,800 und 146,000 darf kein Funkverkehr abgewickelt werden (Funkverkehr Satelliten)
- RST R=Lesbarkeit S=Signalstärke T=Tonqualität
- Frequenzabstand (Shift) zwischen Ein- und Ausgabefrequenz ist 7,6 Mhz bei 70 cm und 600 Mhz bei 2 m
- Bei VHF/UHF Amateurfunk-Antennen wird eine horizontale, vertikale, zirkulare (rechts- oder linksdrehende) Polarisation verwendet.
- Ein P-Leiter ist ein dotiertes Germanium.
- Kohle und Zink gehören zu den Bestandteilen einer normalen, flachen Taschenlampenbatterie.
- Ein unbemannter Satellit wird durch photo-elektrische Elemente mit Energie versorgt.
- Farbhilfsträger beim Fernsehen 4,43 MHz
- Tonträger 5,5 MHz
- Der Wellenwiderstand einer Koaxleitung ist abhängig von der Distanz Innen zum Aussenleiter.

Gerätetechnik

ALC (Automatic Level Control / Automatische Leistungsregelung)

Bei einem SSB-Sender wird die Aussteuerung normalerweise durch den ALC-Level angezeigt. Diese Anzeige für automatische Pegelregelung (automatic level control, ALC) sollte möglichst gering sein.
Um die Leistung des SSB-Senders in einem solchen Fall zu verringern, braucht man entweder nur leiser zu sprechen oder die Aussteuerung am Mikrofonregler herunter zu drehen. Wenn eine separate Endstufe (power amplifier, PA) verwendet wird, kann auch die Ansteuerleistung dieser PA durch Zwischenschaltung eines Dämpfungsgliedes herabgesetzt werden.

RF-Gain (HF-Verstärkung)

Ein Transceiver hat üblicherweise einen Einstellknopf „RF-Gain“ (Hochfrequenz-Verstärkung), den man auch HF-Regler nennt. Mit diesem Einstellknopf gibt man eine zusätzliche Gleichspannung auf den AGC-Verstärker und täuscht dem Gerät damit ein stärkeres Signal vor. Die Verstärkung wird dadurch heruntergeregelt.

Drive (Treiberstufenabstimmung)

Mit dem Driveregler lässt sich der Anodenkreis der Treiberröhre bei Sendebetrieb abstimmen.

Plate (Endstufenabstimmung)

Mit dem Plate- Regler lässt sich der Anodenkreis der Sender-Endstufenröhre abstimmen.

Load (Antennenabstimmung)

Der Load-Regler wird zur Abstimmung des π Filter (Pi-Filters) zwischen Sender-Endstufe und Antenne gebraucht.

Transverter

Bei der Konstruktion von Sendern und Empfängern gibt es die Möglichkeit, neue Frequenzen durch Frequenzmischung zu erzeugen. Manchmal ist es so, dass ein Funkamateur bereits ein gutes Kurzwellengerät für SSB hat und dieses nun auch für das 2-m-Band oder das 70-cm-Band nutzen möchte. Man kann die Frequenz durch Mischung "umsetzen" (konvertieren). Dieser Frequenzumsetzer heißt dann Konverter. Wird der Frequenzumsetzer auch für einen Sender verwendet, bezeichnet man diesen Umsetzer als "Transverter" (transceiver converter).

VOX-Steuerung (Voice Operated Transmitter)

Die meisten modernen Funkgeräte verfügen über eine VOX-Steuerung. Diese Sprachsteuerung schaltet ab einem bestimmten Geräuschpegel das Funkgerät auf Senden. Die Aktivierungslautstärke ist meistens auch regulierbar. In manchen Situationen ist der Einsatz von VOX nicht möglich da der Unterschied zwischen Hintergrundlautstärke und der Stimme nicht mehr groß genug ist.

Speech Processor (Sprach Prozessor / Kompressor)

Beim Sendebetrieb möchte man besonders bei DX-Funkbetrieb eine immer volle Aussteuerung des Senders auch bei leiseren Sprachsignalen erreichen. Dazu haben manche Transceiver einen Speech Processor. Dieser hebt automatisch bei leiseren Signalen die Verstärkung des Modulationsverstärkers an und reduziert diese wieder bei lauteren Passagen.
Die Geschwindigkeit, mit der dieser Prozessor die Verstärkung regelt, kann am Transceiver eingestellt werden. Bei einer geringen Zeitkonstante wird beim normalen Sprechen zwischen den Lauten bereits geregelt, wodurch die Modulation verfälscht wird. Bei schlechten Ausbreitungsverhältnissen ist diese Einstellung empfehlenswert, nicht aber bei normalen Funkverbindungen mit Signalen über S9.

Clipper

Ganz anders arbeitet ein Clipper, obwohl die gleiche Wirkung erzielt wird, nämlich den mittleren Modulationsgrad zu erhöhen. Bei richtiger Einstellung aber wird beim Clipper der Sender immer voll ausgesteuert, ohne dass er übersteuert werden kann. Dies geschieht durch Begrenzung des Signals mit anschliessender Unterdrückung der entstehenden Oberwellen durch einen Tiefpass.

RIT (Receive Incrementat Tuning, Clarifier / Empfänger Feinverstimmung)

Manchmal benötigt man in Gesprächsrunden eine Empfängerfeinverstimmung, ohne dass sich die Sendefrequenz dabei ändert, denn nicht immer sind alle Stationen exakt auf der gleichen Frequenz. Diese Frequenzveränderung von zirka maximal ±10 kHz am Empfänger nennt man Receiver Incremental Tuning (RIT) oder auch Clarifier. Beim normalen Funkbetrieb sollte man darauf achten, dass die RIT beim Beginn der Funkverbindung ausgeschaltet ist, damit man nicht auf der falschen Frequenz anruft.
Moderne Transceiver haben zwei VFOs. Damit ist Split-Funkbetrieb möglich. Besonders bei DXpeditionen sendet die DX-Station auf einer anderen Frequenz als die anrufenden Stationen. Der OP sagt dann im Laufe der Funkverbindung, dass man beispielsweise im Frequenzbereich .280 bis .300 anrufen soll, während er selbst auf .250 sendet.

IF-Shift (Intermediate Frequency Shift / Rtegelbarte ZF-Bandbreite)

Um Störsignale zu dämpfen, verwenden einige Transceiver eine so genannte Passband-Tuning (auch IF-Shift oder ZF-Shift genannt). Diese ZF-Verschiebung erlaubt es, die Mittenfrequenz des Empfangsfrequenzbandes so zu verschieben, dass ein Störträger durch die steile Flanke des ZF-Filters gedämpft werden kann.
Wird die Filterkurve verschoben, kann das Störsignal aus der Filterkurve gelangen. Dies funktioniert nur korrekt, wenn gleichzeitig die Überlagerungsfrequenz (BFO) in der richtigen Weise mit verschoben wird, damit die Frequenzlage der Modulation erhalten bleibt.

VBT (Variable Bandwith Tuning / Bandbreiteneinstellung)

Eine einstellbare Bandbreite erreicht man mit der Variable Bandwidth Tuning VBT. Diese erlaubt die stufenlose Einstellung ohne eine grosse Anzahl verschiedener teurer Filter. Durch eine der ZF-Shift ähnliche Schaltung werden die Durchlasskurven von zwei steilflankigen Filtern so gegeneinander verschoben, dass die effektive Durchlasskurve nur aus der Überdeckungszone der beiden Filter besteht.

AGC (Automatic Gain Control / Automatische Lautstärkeregelung)

Alle gut aufnehmbaren Signale zwischen S5 und weit über S9 sollen ungefähr gleich laut aus dem Lautsprecher kommen. Der Lautstärkeausgleich geschieht mithilfe der AGC (Automatic Gain Control), was soviel wie automatische Lautstärkeregelung bedeutet. Dazu wird hinter dem Demodulator eines Empfängers die Höhe des Pegels „gemessen“ und je nach Stärke werden die Verstärkerstufen auf entsprechende Verstärkung geregelt.

AVC (Automatic Volume Control / Automatische Lautstärkeregelung)

NB (Noise Blanker / Störaustaster)
Der Noise Blanker tastet die Störung aus, das heisst, er sperrt den schmalbandigen Teil des Empfängers während der Dauer der Störung.

Notch-Filter
Mit dem Notchfilter kann ein einzelnes Störsignal, welches innerhalb des Übertragungsbandes liegt, gedämpft werden.

Noise Figure (Rauschzahl)
Das Verhältnis zwischen Signal / Rauschabstand am Empfängereingang zum Signal / Rauschabstand am Eingang des Demodulators. (Die Verschlechterung des Signal / Rauschabstandes am Empfängereingang durch das Eigenrauschen des Empfängers.)

Selectivity (Nachbarkanalselektivität)
Die Dämpfung eines Signals im Nachbarkanal zum Nutzkanal. Diese Grösse wird in der Regel in dB angegeben.

Grosssignalfestigkeit
Ein sehr wichtiges Gütekriterium für einen Empfänger ist die Grosssignalfestigkeit. Über die Antenne eines Empfängers gelangen gleichzeitig so viele Signale, aus denen das gewünschte Signal herausgefiltert werden muss. Eine gute Trennschärfe ist eine wichtige Voraussetzung. Diese wird durch die Steilflankigkeit des Filters im ZF-Verstärker bestimmt.
Das Problem liegt in der ersten Mischstufe. Um die Zwischenfrequenz erzeugen zu können, muss die Mischstufe zwei Signale miteinander multiplizieren wie bei einem Modulator. Reine Frequenzmultiplikatorschaltungen sind sehr aufwendig. Deshalb verwendet man häufig nur eine Multiplikation durch „Spiegelung“ an einer quadratischen Kennlinie (additive Mischstufe) nach dem Prinzip

x^3 = 3. Ordnung: $2 f_1 - f_2$ und $2 f_2 - f_1$
x^5 = 5. Ordnung: $3 f_1 - 2 f_2$ und $3 f_2 - 2 f_1$
x^7 = 7. Ordnung: $4 f_1 - 3 f_2$ und $4 f_2 - 3 f_1$

Beispiel:
Im 40-m-Band befinden sich in der Nähe des Amateurfunkbereiches zwei starke Rundfunkstationen. f1 = 7,100 MHz und f2 = 7,130 MHz. Berechnen Sie die Differenzen aus dritter, fünfter und siebter Ordnung.

2 (7,100) – 7.130 = 7,070 MHz und
2 (7,130) – 7,100 = 7,160 MHz

Die neue Frequenz (also 7,070 MHz und 7,160 MHz) nennt man Intermodulationsprodukte.

ANL (Automatic Noise Limiter / Automatischer Störbegrenzer)
Ein Störbegrenzer bei Amplitudenstörungen, die beispielsweise durch Zündfunken von Motoren, statische Entladungen bei Gewittern, Elektrozäunen usw. entstehen ist der Audio Noise Limiter ANL. Er begrenzt die Spitzenspannung auf den jeweiligen maximalen NF-Pegel.

Neutralisation
Unter Neutralisation versteht man die Kompensation von unerwünschter Rückkopplung vom Ausgang auf den Eingang einer Verstärkerstufe durch Rückführung eines gegenphasigen Signals auf den Verstärkereingang.

Squelch
Eine etwas andere Wirkung hat die Rauschsperre (Squelch). Man gibt eine Gleichspannung auf den NF-Verstärker. Solange die AGC nicht grösser ist, als die eingestellte Squelch-Spannung, sperrt der NF-Verstärker und lässt keine Signale durch. Dadurch kann man der Empfänger auf Empfang eingeschaltet lassen, ohne dass ein lästiges Hintergrundrauschen stört. Erst wenn ein lesbareres Signal die eingestellte Schwelle überschreitet, kann man das Signal hören. Der Squelch wird überwiegend in der Betriebsart FM eingesetzt.

Q-Code

	Antwort	Frage
QRA	Der Name meiner Funkstelle ist..	Wie ist der Name Ihrer Funkstelle?
QRB	Die Entfernung zwischen unseren Funkstellen beträgt ungefähr.... Seemeilen (oder Kilometer).	In welcher Entfernung von meiner Funkstelle befinden Sie sich ungefähr?
QRG	Ihre genaue Frequenz (oder die	Wollen Sie mir meine genaue Fre-
	genaue Frequenz von ...) ist	qünz (oder die genaue Frequenz
	... kHz (oder MHz).von ...)	mitteilen?
QRH	Ihre Frequenz schwankt.	Schwankt meine Frequenz?
QRI	Der Ton Ihrer Aussendung ist ... 1. gut 2. veränderlich 3. schlecht.	Wie ist der Ton meiner Aussendung?

	Antwort	Frage
QRK	Die Verständlichkeit Ihrer Zeichen (oder der Zeichen von ...) ist ... 1. schlecht 2. mangelhaft 3. ausreichend 4. gut 5. ausgezeichnet.	Wie ist die Verständlichkeit meiner Zeichen (oder der Zeichen von ...)?
QRL	Ich bin beschäftigt (oder ich bin mit ... beschäftigt). Bitte nicht stören.	Sind Sie beschäftigt?
QRM	Ich werde gestört. (Ich werde ... 1. nicht 2. schwach 3. mässig 4. stark 5. sehr stark gestört.)	Werden Sie gestört?
QRN	Ich werde durch atmosphärische Störungen beeinträchtigt. (Ich werde ... 1. nicht 2. schwach 3. mässig 4. stark 5. sehr stark gestört.)	Werden Sie durch atmosphärische Störungen beeinträchtigt?
QRO	Erhöhen Sie die Sendeleistung.	Soll ich die Sendeleistung erhöhen?
QRP	Vermindern Sie die Sendeleistung.	Soll ich die Sendeleistung vermindern?
QRQ	Geben Sie schneller (... Wörter in der Minute).	Soll ich schneller geben?
QRS	Geben Sie langsamer (... Wörter in der Minute).	Soll ich langsamer geben?
QRT	Stellen Sie die Übermittlung ein.	Soll ich die Übermittlung einstellen?
QRU	Ich habe nichts für Sie.	Haben Sie etwas für mich?
QRV	Ich bin bereit.	Sind Sie bereit?
QRX	Ich werde Sie um ... Uhr (auf ... kHz (oder MHz)) wieder rufen.	Wann werden Sie mich wieder rufen?
QRZ	Sie werden von ... (auf ... kHz (oder...MHz)) gerufen.	Von wem werde ich gerufen?
QSA	Ihre Zeichen (oder die Zeichen von ...) sind 1. kaum 2. schwach 3. ziemlich gut 4. gut 5. sehr gut hörbar.	Wie ist die Stärke meiner Zeichen (oder der Zeichen von ...)?
QSB	Die Stärke Ihrer Zeichen schwankt.	Schwankt die Stärke meiner Zeichen?
QSD	Ihre Zeichen sind verstümmelt.	Sind meine Zeichen verstümmelt?
QSK	Ich kann Sie zwischen meinen Zeichen hören; Sie dürfen mich während meiner Übermittlung unterbrechen.	Können Sie mich zwischen Ihren Zeichen hören? Wenn ja, darf ich Sie während Ihrer Übermittlung unterbrechen?
QSL	Ich gebe Ihnen Empfangsbestätigung	Können Sie mir Empfangsbestätigung geben?
QSO	Ich kann mit ... unmittelbar (oder durch Vermittlung von ...) verkehren.	Können Sie mit ... unmittelbar (oder durch Vermittlung von ...) verkehren?
QSP	Ich werde an ... vermitteln.	Wollen Sie an ... vermitteln?
QSV	Senden Sie eine Reihe V auf dieser Frequenz (oder auf ... kHz (oder MHz)).	Soll ich eine Reihe V auf dieser Frequenz (oder auf ... kHz (oder MHz)) senden?
QSY	Gehen Sie zum Senden auf eine andere über (oder auf ... kHz (oder MHz)).	Soll ich zum Senden auf eine andere Frequenz übergehen?
QTH	Mein Standort ist ... Breite, ... Länge (oder nach anderer Angabe).	Welches ist Ihr Standort nach Breite und Länge (oder nach anderer Angabe)?
QTR	Es ist genau ... Uhr.	Welches ist die genaue Uhrzeit?

Frequenzbereich

Benennung	Frequenzbereich	Wellenlänge
ELF (extremely low frequency)	0-3 kHz	größer 100 km
VLF (very low frequency)	3-30 kHz	100-10 km
LF (low frequency)	30-300 kHz	10-1 km
MF (medium frequency)	300 kHz-3MHz	1 km-100m
HF (high frequency)	3-30 MHz	100 m-10 m
VHF (very high frequency)	30-300 MHz	10-1 m
UHF (ultra high frequency)	300 MHz-3 GHz	1m-10 cm
SHF (super high frequency)	3-30 GHz	10-1 cm
EHF (extremly high frequency)	30-300 GHz	1 cm-1mm
IR	0,3-385 THz	1000-0.78 mm

Abkürzungen

AC	alternating current	Wechselstrom
ADC	analog digital converter	Analog-Digital-Wandler
AF	audio frequency	Niederfrequenz
AFSK	audio frequency shift keying	Frequenzumtastung durch NF
AGC	automatic gain control	automatische Verstärkungsregelung
ALC	automatic level control	automatische Pegelregelung
AM	amplitude modulation	Amplitudenmodulation
ANT	antenna	Antenne
AVC	automatic volume control	automatische Lautstärkeregelung
ATV	amateur television	Amateurfunk-fernsehen
BAS	Bild Austast- und Synchronsignal	
BBS	bulletin board system	Mailbox (Briefkasten)
BCD	binary coded decimal	binär codierte dezimalzahl
BCI	broadcast interference	Rundfunk-Störungen
BCL	broadcast listener	Rundfunkhörer
BFO	beat frequency oscillator	Überlagerungsoszillator
Bit	bit	Binärstelle
BPM	(siehe LPM!)	Buchstabe pro Minute
BPS	bits per second	Bit pro Sekunde
CCIR		Int. Komitee für Funkfragen
CCITT	Int Komitee für Telefonie/Telegrafie	
CEPT	Europäische Konferenz der Verwaltungen für Post und Fernmeldewesen	
CO	crystal oscillator	Quarzoszillator
DAC	digital analog converter	Digital-Analog-Wandler
DSB	double sideband modulation	Doppelseitenband Modulation
dB	decibel	Dezibel
DC	direct current	Gleichstrom
EIRP	equivalent isotropic radiated power	äquivalente isotrope Strahlungsleistung
EME	earth moon earth	Erde-Mond-Erde Funkverbindung

EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit	
EMVG	Gesetz über Elektromagnetische Verträglichkeit von Geräten	
EMVU	Elektromagnetische Umweltverträglichkeit	
ERP	equivalent radiated power	äquivalente Strahlungsleistung
ESB	(siehe SSB!)	Einseitenband
FAX	facsimile	Bildfernschreiben
FBAS	Farb- Bild- Austast- und Synchron-Signal	
FM	frequency modulation	Frequenzmodulation
FSK	frequency shift keying	Frequenzumtastung
GP	ground plane	Groundplane-Antenne
HF	high frequency	Hochfrequenz (Kurzwelle 3-30 MHz)
IARU	international amateur radio union	
IF	intermediate frequency	Zwischenfrequenz
IRC	international reply coupon	Internationaler Antwortschein
ITU	international telecommunication union	Internationale Fernmeldeunion
LF	low frequency	(siehe NF)
LPM	letters per minute	Buchstaben pro Minute
LSB	lower side band	unteres Seitenband
LW	long wire	Langdraht Antenne
LUF	lowest usable frequency	niedrigste nutzbare Frequenz
MUF	maximum usable frequency	höchste nutzbare Frequenz
NET	net	Netzwerk
NF	(siehe LF)	Niederfrequenz
OSC	oscilloskope	Oszilloskop
OSCAR	orbiting satellite carrying amateur radio	Amateurfunk-Satellit
OUT	output	Ausgang, Ausgangsleistung
PA	power amplifier	Endstufe
PAL	phase alternating line	Farbfernsehsystem
PBS	personal bulletin system	Mailbox (siehe auch BBS!)
PCM	pulse code modulation	Pulscodemodulation
PEP	peak envelope power	Hüllkurvenspitzenleistung
PM	phase modulation	Phasenmodulation
pm	pm (post meridiem)	Nachmittag
PSK	phase shift keying	Phasenumtastung
PWR	power	Leistung
RAM	random access memory	flüchtiger Datenspeicher
RF	radio frequency	(siehe HF)
RFI	radio frequency interference	Funkstörungen
RGB	red green blue	RGB-Farbsignal
RMS	root mean square	Effektivwert
ROM	read only memory	Nur-Lesespeicher
RTTY	radio teletype	Funkfernschreiben
RX	receiver	Empfänger
SAE	self addressed envelope	Umschlag mit eigener Adresse
SASE	self addressed and stamped envelope	freigemachter Umschlag mit eigener Adresse
SHF	super high frequency	Zentimeterwellenbereich
SSB	single side band	Einseitenband
SSTV	slow scan television	Schmalbandfernsehen

SWL	short-wave listener	Kurzwellenhörer
SWR	standing wave ratio	Stehwellenverhältnis
TNC	terminal node controller	Intelligentes Packet Radio Modem mit Prozessor
TVI	television interference	Fernsehstörungen
TX	transmitter	Sender
TRX	transceiver	Sender/ Empfänger
UHF	ultra high frequency	Dezimeterwellenbereich
USB	upper side band	oberes Seitenband
UTC	universal time coordinated	koordinierte Weltzeit
VCO	voltage controlled oscillator	spannungsgesteuerter Oszillator
VFO	variable frequency oscillator	variabler Oszillator
VHF	very high frequency	UKW-Bereich
VOX	voice control	sprachgesteuerter Schalter
WARC	world administrative radio conference	Weltweite Funkverwaltungskonferenz
WPM	words per minute	Wörter pro Minute
WX	weather	Wetter